

# **ESTUDO DA DURABILIDADE E EFICÁCIA DA AÇÃO DE REPELENTES DE ÁGUA EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS RECENTES**

**JOSÉ MANUEL PEREIRA DE OLIVEIRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JULHO DE 2013

Mestrado Integrado em Engenharia Civil 2012/2013

Departamento de Engenharia Civil

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

Editado por

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu Pai

*Nem sempre a melhor proteção é aquela que é visível.*

*O mais importante é sabermos que ela existe...*



## **AGRADECIMENTOS**

Pretendo expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização do presente trabalho, nomeadamente os autores e investigadores que eu não tive oportunidade de conhecer pessoalmente, mas cujos trabalhos contribuíram para aprofundar o tema deste trabalho.

Em primeiro lugar, à docente do Departamento de Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Professora Maria Helena Corvacho, na qualidade de orientadora, por toda a atenção dispensada à orientação do meu trabalho, pelos vários conselhos e exigências fundamentais para a sua realização, e especialmente pelo apoio e incentivo continuamente recebidos, que em muito contribuíram para que nunca desistisse do propósito de realizar esta dissertação.

Às investigadoras do LNEC, Dra., Maria do Rosário Veiga e Dra., Teresa Cláudio Diaz Gonçalves por toda a informação disponibilizada e documentos bibliográficos no âmbito deste trabalho.

Aos docentes do Instituto Superior Técnico, Professora, Inês dos Santos Flores Barbosa Colen e Professor, Jorge Manuel Calíço Lopes de Brito, que me facultaram documentação relevante de sua autoria, e alguns trabalhos de dissertação de sua orientação.

Muito obrigado...



## **RESUMO**

A presente dissertação tem como objetivo principal estudar a durabilidade e a eficácia da ação de produtos hidrófugos impregnados em paramentos exteriores de edifícios recentes.

Os revestimentos das alvenarias de fachadas estudados foram o tijolo cerâmico de face à vista e as “plaquetas” cerâmicas.

Através da metodologia de previsão da vida útil dos produtos da construção proposta na norma ISO 15686-1, estimou-se a duração da vida útil deste tipo de soluções aplicando-se o Método Fatorial.

Foi realizada uma campanha experimental de modo a permitir uma análise dos resultados com base no envelhecimento natural de fachadas tratadas com produtos repelentes à água da chuva.

Neste trabalho recorreu-se a técnicas de ensaio não destrutivas, destacando-se a utilização do tubo de Karsten e do humidímetro.

O trabalho desenvolvido visa não só avaliar este tipo de solução em termos de durabilidade e eficácia, mas também contribuir para as tomadas de decisão relativamente à sua aplicação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidrorrepelentes, Durabilidade, Eficácia, Tubo de Karsten, Fachadas, Materiais cerâmicos porosos.





## **ABSTRACT**

The main purpose of this dissertation is to study of the durability and efficacy of the action of impregnated water-repellent products on the outer facings of recent buildings.

The façade masonry claddings subjected to study were brick covering and brick slips.

Applying a methodology to forecast the service life of the construction products proposed in ISO standard 15686-1, an estimate was made of the service life of this kind of solution by deploying the Factorial Method.

An experimental campaign was carried out in order to allow an analysis of the results based on the natural ageing of façades treated with rainwater repellent products.

During the assignment, non-destructive testing techniques were deployed, highlighting the use of a Karsten tube and a moisture meter.

The work undertaken was aimed not only at evaluating this kind of solution in terms of durability and efficacy, but also to make a contribution to decision-making about its application.

**Keywords:** Water-repellent, Durability, Efficacy, Karsten tube, Façades, Porous ceramic materials.



## ÍNDICE GERAL

|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS .....  | I   |
| RESUMO .....  | III |
| ABSTRACT .....  | V   |
| 1 INTRODUÇÃO .....  | 1   |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....  | 1   |
| 1.2 INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO .....   | 3   |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO .....   | 3   |
| 2 ESTADO DA ARTE - PROTEÇÃO HIDRORREPELENTE DA ENVOLVENTE VERTICAL OPACA DOS EDIFÍCIOS RECENTES ..... | 5   |
| 2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ESTANQUIDADE DA ENVOLVENTE VERTICAL .....                            | 5   |
| 2.2 A INCIDÊNCIA DE FENÓMENOS ANÓMALOS EM FACHADAS .....  | 7   |
| 2.3 A FISSURAÇÃO DE FACHADAS ASSOCIADA À OCORRÊNCIA DE INFILTRAÇÕES DE ÁGUA DA CHUVA .....            | 8   |
| 2.4 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A RESISTÊNCIA DAS FACHADAS À INFILTRAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA .....       | 12  |
| 2.5 FENÓMENOS QUE CONDICIONAM A TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA NAS FACHADAS .....                              | 13  |
| 2.5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....  | 13  |
| 2.5.2 TRANSPORTE DE ÁGUA LÍQUIDA .....  | 15  |
| 2.5.3 TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA .....   | 18  |
| 2.5.4 SECAGEM DE MATERIAIS HÚMIDOS .....  | 19  |
| 2.6 EVOLUÇÃO HISTÓRICA E CIENTÍFICA DA PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DE FACHADAS ....                        | 20  |
| 2.7 SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS VERSUS MOLHABILIDADE .....   | 21  |
| 2.8 PROTEÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS RECENTES COM PRODUTOS REPELENTE DE ÁGUA .....                   | 23  |
| 2.8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....  | 23  |
| 2.8.2 SELEÇÃO DO TIPO DE HIDRORREPELENTE .....  | 26  |
| 2.8.3 A TEMPERATURA DE APLICAÇÃO .....  | 28  |
| 2.8.4 OS BENEFÍCIOS E CONSEQUÊNCIAS DOS TRATAMENTOS HIDRORREPELENTE .....                             | 28  |
| 2.8.5 CRESCIMENTO BIOLÓGICO .....   | 29  |
| 2.8.6 AS PROPRIEDADES DE DISSOLUÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA .....  | 30  |
| 2.8.7 EFLORESCÊNCIAS E MANCHAS .....  | 30  |
| 2.9 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DOS PRODUTOS HIDRORREPELENTE .....                           | 31  |
| 2.9.1 VANTAGENS .....   | 31  |

|   |    |
|---|----|
| 2.9.2 LIMITAÇÕES .....  | 33 |
| 2.10 EFEITOS SECUNDÁRIOS DOS TRATAMENTOS HIDRORREPELENTES DE FACHADAS.....  | 33 |
| 2.11 TIPOS DE TRATAMENTOS HIDRÓFUGOS EM FACHADAS .....  | 34 |
| 2.11.1 INTRODUÇÃO.....  | 34 |
| 2.11.2 HIDRORREPELENTES COM CAPACIDADE DE FORMAÇÃO DE PELÍCULA .....  | 35 |
| 2.11.3 HIDRORREPELENTES COM CAPACIDADE PENETRANTE .....   | 37 |
| 3 METODOLOGIAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE E EFICÁCIA DOS TRATAMENTOS HIDRORREPELENTES .....                        | 39 |
| 3.1 A NORMA ISO 15686.....  | 39 |
| 3.2 CONCEITOS DE DURABILIDADE VERSUS VIDA ÚTIL .....  | 40 |
| 3.3 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA.....  | 43 |
| 3.4 A IMPORTÂNCIA DA SELEÇÃO DO MÉTODO PARA A ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL.....  | 46 |
| 3.4.1 SELEÇÃO DO MÉTODO .....   | 46 |
| 3.4.2 DEFINIÇÃO DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO .....   | 47 |
| 3.4.3 PRINCIPAIS REQUISITOS DOS PRODUTOS HIDRORREPELENTES .....   | 47 |
| 3.4.4 MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL (DURABILIDADE).....  | 48 |
| 3.5 ESTADO LIMITE DE VIDA ÚTIL PARA TRATAMENTOS HIDRÓFUGOS DE SUPERFÍCIES .....   | 48 |
| 3.6 A IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO PARA A PREVISÃO DA VIDA ÚTIL .....  | 52 |
| 3.7 QUANTIFICAÇÃO DA VIDA ÚTIL (DURABILIDADE) UTILIZANDO O MÉTODO FATORIAL.....   | 53 |
| 3.7.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO FATORIAL .....  | 53 |
| 3.7.1.1 VIDA ÚTIL DE REFERÊNCIA .....   | 54 |
| 3.7.1.2 FATORES MODIFICADORES .....   | 55 |
| 3.7.2 FATORES MODIFICADORES A CONSIDERAR NA SOLUÇÃO DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES DE FACHADAS COM PRODUTOS HIDRORREPELENTES..... | 55 |
| 3.7.3 QUANTIFICAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA PARA UM CASO DE ESTUDO FICTÍCIO .....   | 60 |
| 3.7.3.1 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....  | 61 |
| 4 CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....  | 63 |
| 4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....  | 63 |
| 4.2 SELEÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO .....   | 63 |
| 4.3 DESCRIÇÃO DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS E DAS SUPERFÍCIES ENSAIADAS .....   | 67 |
| 4.4 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIO A UTILIZAR NAS FACHADAS TRATADAS EM SERVIÇO.....  | 70 |
| 4.4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....  | 70 |
| 4.4.2 EQUIPAMENTO DE APOIO UTILIZADO NA INSPEÇÃO DAS FACHADAS.....  | 71 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.4.3 ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO (TUBOS DE KARSTEN) ...  | 71  |
| 4.4.3.1 INTRODUÇÃO .....  | 71  |
| 4.4.3.2 BREVE HISTÓRIA SOBRE O MÉTODO DO TUBO DE KARSTEN .....  | 72  |
| 4.4.3.3 ABSORÇÃO DA SUPERFÍCIE DE TRATAMENTOS ANTIGOS.....  | 72  |
| 4.4.3.4 PRESSÃO DA ÁGUA QUE PODE SER SUPORTADA PELA SUPERFÍCIE DA ALVENARIA   | 73  |
| 4.4.3.5 APARELHOS E UTENSÍLIOS UTILIZADOS NO ENSAIO .....   | 73  |
| 4.4.3.6 PROCEDIMENTO DA TÉCNICA DE ENSAIO .....   | 74  |
| 4.4.3.7 PARÂMETROS DE MEDIÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA NO ESTUDO DOS RESULTADOS .....  | 76  |
| 4.4.4 ENSAIO DO TEOR DE HUMIDADE À SUPERFÍCIE (HUMIDÍMETRO PORTÁTIL).....   | 77  |
| 4.4.4.1 INTRODUÇÃO .....  | 77  |
| 4.4.4.2 FATORES QUE INFLUENCIAM OS RESULTADOS .....   | 79  |
| 4.4.5 TEMPERATURA SUPERFICIAL E CONDIÇÕES DE HUMIDADE E TEMPERATURA DO AR   | 80  |
| 4.4.6 FICHAS DE INSPEÇÃO E ENSAIO .....   | 80  |
| 4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA CAMPANHA EXPERIMENTAL.....  | 85  |
| 4.5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....  | 85  |
| 4.5.2 RECOLHA DE INFORMAÇÃO PRÉVIA SOBRE AS FACHADAS OBJETO DE ESTUDO .....   | 85  |
| 4.5.3 INSPEÇÃO VISUAL .....   | 86  |
| 4.5.4 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE À SUPERFÍCIE (HUMIDÍMETRO PORTÁTIL).....  | 89  |
| 4.5.4.1 PARTICULARIDADES REGISTADAS DURANTE OS ENSAIOS DE MEDIÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE .....   | 89  |
| 4.5.4.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....  | 89  |
| 4.5.5 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO (TUBO DE KARSTEN) .....   | 92  |
| 4.5.5.1 PARTICULARIDADES REGISTADAS DURANTE OS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA  | 92  |
| 4.5.5.2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS IN-SITU  | 93  |
| 4.5.5.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS EM AMOSTRAS DE SUBSTRATOS SEM TRATAMENTO HIDRORREPELENTE ..... | 98  |
| 4.5.6 ANÁLISE DA EFICÁCIA VERSUS DURABILIDADE .....   | 103 |
| 5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....  | 109 |
| 5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES E LIMITAÇÕES .....  | 109 |
| 5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....  | 113 |
| BIBLIOGRAFIA.....   | 115 |
| ANEXOS.....   | 121 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Fig. 2.1 – Distribuição relativa das anomalias em edifícios (Fonte – CSTC).....  | 7  |
| Fig. 2.2 - Distribuição relativa do tipo de manifestações de humidade em edifícios (Fonte - CSTC) ....   | 8  |
| Fig. 2.3 – Tipos de porosidade nos materiais de construção [10]. ....  | 14 |
| Fig. 2.4 - Fenómeno da capilaridade (adaptado de [10]). ....   | 15 |
| Fig. 2.5 - Pressão capilar dentro de um poro capilar (adaptado de [11]). ....  | 16 |
| Fig. 2.6 – Movimento do líquido no interior de um capilar [13]. ....   | 17 |
| Fig. 2.7 – Curva típica de absorção de água por capilaridade de um material poroso (adaptado de [11]). ....  | 17 |
| Fig. 2.8 - Evolução característica do teor de água de um material poroso durante a secagem (adaptado do CSTC) [7]. ....  | 19 |
| Fig. 2.9 – Gotas de água sobre folhas de plantas (adaptado de [38]). ....  | 22 |
| Fig. 2.10 – Micrografia mostrando gotas esféricas de água sobre a estrutura de uma folha de Lótus [16]. ....   | 22 |
| Fig. 2.11 – Ângulo formado por uma gota de água numa superfície hidrofóbica [16]. ....   | 23 |
| Fig. 2.12 – Ângulo formado por uma gota de água numa superfície hidrofóbica (adaptado de [16]). .  | 23 |
| Fig. 2.13 – Interação entre a água e uma superfície não-hidrofóbica (adaptado de [37]). ....   | 26 |
| Fig. 2.14 – Interação entre a água e uma superfície hidrofóbica (adaptado de [37]). ....   | 26 |
| Fig. 2.15 – Estrutura química geral de um silano e exemplificação (adaptado de [37, 40]). ....   | 27 |
| Fig. 2.16 – Estrutura química geral de um silano e exemplificação (adaptado de [37, 40]). ....   | 27 |
| Fig. 2.17 – Ilustração de imagem térmica de paredes de alvenaria com diferentes eficiências térmicas [39]. ....  | 32 |
| Fig. 2.18 – Paredes com e sem proteção de produtos hidrófugos de superfície (adaptado de [7]). ....  | 35 |
| Fig. 3.1 – Exemplo de parte de uma Aprovação Técnica com certificação (ATG). ....  | 46 |
| Fig. 3.2 – Curvas correspondentes aos padrões de degradação. ....  | 49 |
| Fig. 3.3 – Determinação da vida útil esperada através da definição de um nível mínimo de aceitação (adaptado de [31, 32]). ....  | 50 |
| Fig. 3.4 – Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento construtivo e os mínimos aceitáveis com identificação daquela que condiciona a vida útil [19, 31]. .... | 51 |
| Fig. 3.5 - Bandas de variação de curvas de degradação (adaptado de [29, 30]). ....   | 51 |
| Fig. 3.6 - Metodologia para a previsão do tempo de vida útil [25] ....   | 54 |
| Fig. 4.1 – Vista de satélite com indicação dos edifícios inspecionados – ED04, ED05, ED08 e ED09 (Google maps 2013). ....  | 68 |
| Fig. 4.2 – Vista de satélite com indicação dos edifícios inspecionados – ED01 (Google maps 2013)   | 68 |

|  |     |
|--|-----|
| Fig. 4.3 – Vista de satélite com indicação do edifício inspecionado – ED06 (Google maps 2013) .....  | 69  |
| Fig. 4.4 – Vista de satélite com indicação do edifício inspecionado – ED09 (Google maps 2013) .....  | 69  |
| Fig. 4.5 – Validação do material de fixação do tubo de Karsten face à absorção de água. ....   | 74  |
| Fig. 4.6 – Esquemas dos tubos de Karsten para superfícies verticais e horizontais [33]. ....   | 75  |
| Fig. 4.7 – Humidímetro portátil .....  | 78  |
| Fig. 4.8 – Termómetro de infravermelhos e higrómetro .....   | 80  |
| Fig. 4.9 – Ilustração da Ficha de Inspeção Visual (página1/2) .....  | 82  |
| Fig. 4.10 – Ilustração da Ficha de Inspeção Visual (página2/2) .....   | 83  |
| Fig. 4.11 – Ilustração da Ficha de Ensaios in-situ (registo de dados). ....  | 84  |
| Fig. 4.12 – Síntese das medições do teor de humidade à superfície efetuadas nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo. ....  | 90  |
| Fig. 4.13 – Gráfico com valores médios e desvios padrão do teor de humidade medidos nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo. ....                                      | 91  |
| Fig. 4.14 – Evolução do teor de humidade ao longo do perfil do paramento do edifício ED03. ....  | 91  |
| Fig. 4.15 – Quadro resumo das zonas ensaiadas com a técnica do tubo de Karsten nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo. ....   | 95  |
| Fig. 4.16 – Síntese dos valores da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min em função do tipo de substrato dos paramentos tratados com hidrorrepelentes. ....   | 96  |
| Fig. 4.17 – Gráfico com valores médios e desvios padrão dos resultados da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min nos substratos com tratamento hidrorrepelente dos edifícios objeto de estudo. .... | 96  |
| Fig. 4.18 – Gráfico comparativo dos resultados da absorção de água entre material cerâmico tratado e não tratado com hidrorrepelentes. ....  | 97  |
| Fig. 4.19 – Gráfico com valores médios e desvios padrão dos resultados da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min em função da idade do tratamento hidrorrepelente. ....                             | 98  |
| Fig. 4.20 – Ilustração dos ensaios de absorção de água (tubo de Karsten) às amostras de tijolo cerâmico não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09. ....                      | 99  |
| Fig. 4.21 – Síntese dos valores de absorção de água acumulada sob baixa pressão em amostras de tijolo não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09. ....                        | 100 |
| Fig. 4.22 – Resultados médios de absorção de água acumulada sob baixa pressão aos 60 min em amostras de tijolo não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09. ....               | 100 |
| Fig. 4.23 – Ilustração dos ensaios de absorção de água (tubo de Karsten) às amostras de plaquetas cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED01. ....                                       | 101 |
| Fig. 4.24 – Síntese dos valores de absorção de água sob baixa pressão em amostras de plaquetas cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED01. ....  | 101 |
| Fig. 4.25 – Ilustração dos ensaios de absorção de água (tubo de Karsten) às amostras cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED03. ....  | 102 |



|  |     |
|--|-----|
| Fig. 4.26 – Síntese dos valores de absorção de água sob baixa pressão em amostras de plaquetas cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED03. ....      | 102 |
| Fig. 4.27 – Síntese dos valores de absorção de água sob baixa pressão em juntas de argamassa não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED01 e ED03. ....         | 103 |
| Fig. 4.28 – Distribuição dos valores médios de eficácia (60 min) dos edifícios com paramentos tratados com hidrorrepelentes.....                                       | 104 |
| Fig. 4.29 – Síntese dos valores de eficácia de absorção aos 15 e 60 min dos tratamentos hidrorrepelentes ensaiados nos paramentos dos edifícios objeto de estudo. .... | 105 |
| Fig. 4.30 – Distribuição dos valores médios de eficácia (15 min) dos edifícios com paramentos tratados com hidrorrepelentes.....                                       | 106 |
| Fig. 4.31 – Distribuição dos valores médios de eficácia (60 min) dos edifícios com paramentos tratados com hidrorrepelentes.....                                       | 106 |
| Fig. 4.32 – Distribuição das diferenças obtidas entre os valores médios de eficácia aos 15 min e aos 60 min.....   | 107 |
| Fig. 4.33 – Evolução da eficácia de absorção dos tratamentos hidrorrepelentes sobre o material cerâmico.....   | 108 |



## ÍNDICE DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 2.1 - Espessuras mínimas de alvenarias simples para garantir a estanquidade à água da chuva (excluindo os acabamentos) em mm [9].....   | 11 |
| Quadro 2.2 – Fatores que influenciam o risco de infiltrações de água da chuva em paredes duplas [9] .....  | 11 |
| Quadro 2.3 – Níveis de exposição à chuva incidente [9].....  | 11 |
| Quadro 3.1 - Normas da série ISO 15686 [25] .....  | 39 |
| Quadro 3.2 - Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [27].....   | 41 |
| Quadro 3.3 - Valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes [25] .....   | 42 |
| Quadro 3.4 – Classes de eficácia de absorção de água a baixa pressão, adaptado do CSTC [7].....  | 44 |
| Quadro 3.5 - Resumo dos resultados dos ensaios de um produto hidrófugo certificado aplicado sobre a superfície de tijolo de terra cota (dados extraídos de uma ATG). .....                       | 45 |
| Quadro 3.6 – Valores de desvio em relação à condição de referência [25] .....  | 55 |
| Quadro 3.7 - Fatores modificadores associados à qualidade dos produtos (A).....  | 56 |
| Quadro 3.8 - Fatores modificadores associados à qualidade do projeto (B).....  | 57 |
| Quadro 3.9 - Fatores modificadores associados à qualidade de execução (C) .....  | 57 |
| Quadro 3.10 - Fatores modificadores associados às características do ambiente exterior (E) .....   | 58 |
| Quadro 3.11 - Fatores modificadores associados às características de uso (F).....  | 59 |
| Quadro 3.12 - Fatores modificadores associados à manutenção (G) .....  | 59 |
| Quadro 4.1 – Ilustração dos edifícios em serviço com fachadas tratadas com hidrorrepelentes objeto de estudo.....  | 65 |
| Quadro 4.2 – Ilustração dos materiais cerâmicos das fachadas com tratamento hidrorrepelente objeto de estudo.....  | 66 |
| Quadro 4.3 – Principais características dos paramentos estudados.....  | 67 |
| Quadro 4.4 - Equipamento de apoio utilizado na inspeção de fachadas.....   | 71 |
| Quadro 4.5 – Padrões tipo de perfis de humidade obtidos em séries verticais de leituras (adaptado de [34]) .....   | 79 |
| Quadro 4.6 – Ilustração de algumas anomalias observadas durante a inspeção visual.....   | 87 |
| Quadro 4.7 – Ilustração de algumas particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em paramentos tratados e não tratados com produtos hidrorrepelentes..... | 89 |
| Quadro 4.8 – Ilustração de algumas particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em paramentos tratados e não tratados com produtos hidrorrepelentes..... | 92 |



## **SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

ASTM - American Society for Testing and Materials

ATG - Agreement Technique avec Certification (Aprovação Técnica com Certificação)

CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction

CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction

EOTA - European Organisation for Technical Approvals

ESL - Vida Útil Estimada

ETAG - Guideline for European Technical Approval

ISO - International Organization for Standardization

UBAtc - Union Belge pour l'Agrément Technique dans la Construction

RILEM - International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

RSL - Vida Útil de Referência









# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

De uma forma geral, considera-se que os edifícios construídos com fachadas em alvenaria cerâmica, de tijolo maciço e de face à vista, ou alvenaria revestida com cerâmica, não necessitam de um revestimento protetor que lhes proporcione cor e que os ajude a resistir à penetração da chuva, desde que tenham sido devidamente concebidos e executados.

Os tijolos de face à vista são geralmente escolhidos porque, entre outras características, têm uma cor própria e durável e, quando corretamente assentes, são resistentes à penetração da água da chuva. As paredes de alvenaria cerâmica não necessitam de ser pintadas, mas existe sempre a opção de as pintar por motivos estéticos ou para se aumentar a reflexão da luz.

No entanto, segundo Henriques [1], as fachadas constituídas por paredes simples ou duplas, com ou sem caixa de ar, não estão isentas de problemas construtivos, devido a erros de projeto ou de execução, à ausência de manutenção regular, ou ainda, à inadequada constituição e o respetivo grau de exposição à ação da chuva incidente. Na avaliação dos riscos de molhagem das fachadas face à ação da chuva incidente, é importante salientar que na conceção da mesma deve-se ter em conta a sua localização e orientação.

A ação da chuva, conjugada com a ação do vento, pode constituir uma ação gravosa para as fachadas, dado que a trajetória da chuva se afasta da vertical pela ação do vento e dá origem a uma trajetória da chuva com uma componente horizontal, que será tanto maior quanto maior for a intensidade do vento, ficando as paredes dos edifícios sujeitas a uma ação de molhagem que aumenta o risco de humedecimento dos paramentos interiores e diminui a resistência térmica dos seus materiais constituintes. O aumento do teor de água dos materiais constituintes das paredes provoca um aumento da respetiva condutibilidade térmica, podendo dar origem à ocorrência de condensações.

A incidência das gotas de água da chuva em juntas mal vedadas ou fissuras podem provocar a penetração direta nas fachadas, por efeito da energia cinética. Quando a ação da chuva sobre as paredes é continuada dá origem à formação de uma cortina de água que ao escorrer pela superfície pode penetrar por gravidade, consequente da sobrepressão causada pelo vento ou por ação do efeito da capilaridade dos materiais.

Os fenómenos de secagem muito rápida dos materiais húmidos, nomeadamente, em locais expostos a ventos de forte intensidade provocam uma diminuição da temperatura superficial exterior das paredes e podem contribuir para um aumento do risco de condensações.

As anomalias devidas à humidade de precipitação manifestam-se regra geral nos períodos de ocorrência de chuvas, sob a forma de manchas de humidade nos paramentos interiores das fachadas e

que tendem a desaparecer quando o tempo se apresenta seco. Nas zonas afetadas pela humidade de precipitação é frequente o aparecimento de bolores, eflorescências e criptoflorescências, verificando-se que a um dado nível das paredes, o teor de água é crescente ao longo da espessura da parede, do interior para o exterior, enquanto nos paramentos exteriores é aproximadamente constante. As paredes duplas com caixa de ar são uma solução eficaz para se evitar as anomalias provocadas pela penetração da água da chuva, mas verifica-se frequentemente que estas apresentam deficiências construtivas, nomeadamente, a caixa de ar encontra-se parcialmente obstruída com argamassa, os estribos de ligação dos panos têm inclinação para o interior, caleira de recolha de águas obstruída e com pendente inadequada ou inexistente, orifícios de drenagem da caleira mal posicionados, obstruídos ou inexistentes e caixa de ar completamente preenchida por um isolante térmico, criando uma continuidade entre os panos interior e exterior, facilitando a migração da água para o paramento interior, ou seja, o funcionamento destas paredes duplas é semelhante ao das paredes simples [1].

Neste trabalho pretende-se verificar se a aplicação dos produtos hidrófugos de superfície nos paramentos exteriores, poderá ser uma das soluções possíveis para a reparação das anomalias relacionadas com a humidade de precipitação, nomeadamente, as provocadas por deficiências de estanquidade das paredes e pelas infiltrações de água através das fissurações, partindo-se do pressuposto que estas se verificam em superfície corrente das fachadas e não em pontos singulares, tais como, zonas de remate com elementos envolventes de caixilharias ou com eventuais elementos construtivos salientes, considerando-se que as soluções de reparação para estes casos merece uma análise específica, que não faz parte do âmbito deste estudo.

No mercado existem várias marcas de produtos hidrófugos de superfície que são recomendados para superfícies absorventes com o objetivo de proporcionar uma repelência de água duradoura e para várias utilizações, tais como: betão, revestimentos cerâmicos não vitrificados, pedra natural, telhas cerâmicas não vitrificadas, etc.

As propriedades físicas e químicas de uma fachada construída em alvenaria de tijolos cerâmicos é consideravelmente diferente da de pedra e do betão. O tijolo de face à vista tem uma diferente estrutura de poros, é geralmente menos absorvente, menos permeável e não é tão alcalino como o betão. As diferenças entre fachadas e respetivos materiais de construção, levaram a que fosse restringido neste trabalho o tipo de fachadas para o estudo de aplicação de hidrófugos de superfície. Estes produtos transparentes, também frequentemente designados de hidrorrepelentes são aplicados como proteção da envolvente vertical dos edifícios, sendo objeto de estudo as fachadas em alvenaria cerâmica, de tijolo maciço e de face à vista, ou alvenaria revestida com cerâmica.

Através da metodologia de previsão da vida útil dos produtos da construção proposta na norma ISO 15686-1, estimou-se a duração da vida útil deste tipo de soluções aplicando-se o Método Fatorial, de forma a permitir posteriormente uma análise comparativa com os dados obtidos na campanha experimental.

A campanha experimental foi realizada como estudo complementar da avaliação da durabilidade, baseando-se esta no envelhecimento natural de fachadas com tratamento de superfície hidrofugante.

Para realizar a campanha experimental deste trabalho adotou-se uma metodologia de análise que incidiu sobre a aplicação de hidrófugos de superfície em provetes tratados em ambiente laboratorial e na realização de campanhas de inspeção e ensaios realizados in-situ de alguns casos de estudo, tendo como base a aplicação de produtos hidrorrepelentes de fabrico nacional na zona do grande Porto. Foram analisados edifícios com diferentes idades de construção, cujas fachadas foram tratadas com hidrófugos de superfície logo após as alvenarias acabadas de construir e em fachadas que foram reparadas devido a anomalias provocadas por humidade de precipitação, nomeadamente, deficiências

de estanquidade e infiltrações de água através de fissurações. Neste trabalho recorreu-se a técnicas de inspeção e ensaio não destrutivas, destacando-se entre outras, a utilização do tubo de Karsten e do humidímetro, para determinar o desempenho em serviço dos tratamentos hidrorrepelentes nos substratos cerâmicos face à ação da água através da medição da absorção à água líquida sob baixa pressão e da medição de perfis verticais do teor de humidade à superfície, respetivamente.

## **1.2 INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO**

O principal objetivo do presente trabalho é estudar e avaliar a durabilidade da ação de produtos hidrófugos impregnados em superfícies de fachadas com materiais cerâmicos porosos de edifícios recentes. Para atingir o objetivo principal, foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- Efetuar um levantamento dos vários tipos de produtos hidrorrepelentes comercializados que são utilizados na hidrofugação de superfícies de fachadas;
- Analisar e quantificar os fatores que influenciam a vida útil dos tratamentos de superfícies hidrorrepelentes aplicados sobre substratos cerâmicos, através do Método Fatorial proposto na norma ISO 15686-1, para estimar a vida útil da solução de proteção hidrófuga;
- Discutir a viabilidade de aplicação de produtos hidrorrepelentes para proteção de fachadas com anomalias de estanquidade;
- Analisar o desempenho em serviço dos tratamentos hidrorrepelentes, através de campanhas de inspeção com o recurso à observação visual das anomalias nos paramentos interiores e exteriores das fachadas em edifícios com idades diferentes;
- Elaborar uma ficha de inspeção tipo para registo dos dados e para sistematizar a informação recolhida;
- Avaliar, experimentalmente em edifícios de diferentes idades com o recurso a técnicas de ensaios in-situ não destrutivas, a durabilidade em função da manutenção da ação dos produtos hidrorrepelentes face ao envelhecimento natural da proteção hidrófuga e da comparação de edifícios com e sem tratamento hidrófugo das superfícies das fachadas que tenham o mesmo tipo de revestimento cerâmico;
- Identificar as vantagens, inconvenientes ou limitações, da hidrofugação de superfícies de fachadas;
- Aprofundar o conhecimento acerca dos tratamentos hidrófugos de superfície, difundido em diversas publicações técnicas e científicas;
- Contribuir para as tomadas de decisão relativamente à aplicação dos tratamentos hidrófugos de superfície.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO**

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos.

No presente capítulo é feito o enquadramento do tema e uma explanação do interesse e objetivo principal do trabalho, assim como dos objetivos específicos para alcançar tal objetivo. Este capítulo introdutório termina com a apresentação da organização e estrutura do texto.

No capítulo 2, apresenta-se o estado do conhecimento atual em relação aos produtos hidrófugos de superfície, em particular, os que são aplicados para proteção de fachadas de edifícios.

No capítulo 3, faz-se uma abordagem do conceito da durabilidade através da norma ISO 15686. Estuda-se a durabilidade da solução de proteção de superfície de fachadas baseada na aplicação de produtos hidrorrepelentes. É efetuada uma análise e quantificação dos fatores que influenciam a vida

útil dos referidos tratamentos hidrófugos, aplicando-se o Método Fatorial proposto na norma para estimar a vida útil da solução de proteção.

No capítulo 4, apresenta-se todo o trabalho referente à campanha experimental realizada in-situ de alguns casos de estudo, com vista a avaliar a durabilidade com base no envelhecimento natural da proteção hidrófuga aplicada em superfícies de fachadas de edifícios recentes. Faz-se uma descrição dos ensaios realizados em ambiente laboratorial e in-situ, e discutem-se ainda os resultados obtidos nos ensaios.

No capítulo 5, fazem-se considerações finais dos resultados obtidos pelo Método Fatorial e de todo o trabalho experimental. Apresentam-se as principais conclusões do trabalho realizado, assim como alguns aspetos que podem ser objeto de desenvolvimentos futuros.

## 2

# ESTADO DA ARTE - PROTEÇÃO HIDRORREPELENTE DA ENVOLVENTE VERTICAL OPACA DOS EDIFÍCIOS RECENTES

### 2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ESTANQUIDADE DA ENVOLVENTE VERTICAL

Antes de se proceder à análise e discussão sobre a aplicação e durabilidade de produtos hidrorrepelentes em fachadas de alvenarias de tijolo cerâmico à vista ou de alvenarias revestidas com “plaquetas” cerâmicas, salienta-se a importância de se compreender primeiramente a capacidade que as fachadas têm por si só de resistir à penetração da água antes de serem aplicadas soluções destinadas a eliminar as deficiências de estanquidade das paredes provocadas por humidade de precipitação.

As superfícies da envolvente vertical dos edifícios são a fronteira entre os ambientes exterior e interior às fachadas, nas quais ocorrem fenómenos de transferência de humidade e calor que podem condicionar o desempenho termo-higrométrico dos edifícios, nomeadamente, resistir à passagem de calor por condução e à ocorrência de condensações no seu interior e nos seus paramentos interiores. Uma deficiente conceção da envolvente vertical, tanto a nível de projeto como em operações de reabilitação podem dar origem a várias manifestações patológicas nas fachadas.

Das várias exigências funcionais aplicáveis às fachadas, designadamente, a estabilidade, a estanquidade, isolamento térmico, isolamento acústico, resistência ao fogo, durabilidade, estética, etc., a característica estanquidade é sem dúvida a mais importante face à incidência da água da chuva, não só pelos efeitos negativos associados a esta ação (infiltrações, bolores, insalubridade, etc.), mas também por se verificar que muitas das outras exigências dependem desta característica.

As fachadas dos edifícios recentes são muito diferentes da construção tradicional de há alguns séculos atrás e mais suscetíveis à penetração da água da chuva do que as fachadas de edifícios antigos.

Segundo Alves e Sousa [2], no princípio do século XX, as fachadas dos edifícios eram construídas com estilos de arquitetura preestabelecidos, com uma pequena variedade de materiais e métodos construtivos tradicionais comprovados ao longo dos anos, o que permitia aos profissionais da construção uma correta utilização dos materiais e dos processos construtivos, sendo esse conhecimento baseado numa longa aprendizagem.

A arquitetura das fachadas tinha como preocupação estética a utilização de adornos tais como saliências, beirados, entalhes, etc., que tinham sobretudo a função de proteção contra a água das chuvas, assim como controlar os movimentos desta ao longo das fachadas.

Devido a vários fatores, principalmente económicos e sociais, as fachadas dos edifícios deixaram de ser construídas pelos métodos tradicionais. O surgimento de novas tecnologias de construção que exigem por parte dos profissionais da construção novos conhecimentos e uma rápida adaptação à evolução das técnicas de construção, a precariedade no emprego, a falta de formação de base e de formação contínua, contribuíram para a não qualidade na construção.

Atualmente a paisagem urbana foi alterada profundamente pelas fachadas dos edifícios recentes. Estas apresentam-se com novos estilos de arquitetura, mais altas, com paredes mais finas, com novos materiais e são executadas com a adoção de novos métodos construtivos, contribuindo estas alterações para potenciar a ocorrência de anomalias face às tradicionais alvenarias. As fachadas atuais são frequentemente sujeitas a novas ações, como por exemplo, as vibrações dos equipamentos internos que podem provocar a fissuração das juntas, assim como possuem uma permeabilidade inferior às das fachadas antigas, porque têm uma menor capacidade de “respirar” e consequentemente, uma menor liberdade de perda por evaporação das quantidades de água absorvidas durante a ação das chuvas incidentes [2].

Para Lucas [3], o conceito de revestimento exterior das paredes de fachada não está estritamente associado ao material constituinte do revestimento, mas a toda a obra de revestimento, ou seja, as juntas entre elementos de revestimento, as lâminas de ar para ventilação, etc., fazem parte da conceção do revestimento no seu conjunto.

As paredes de fachada devem ser estanques à água da chuva, dependendo, o grau exigido de estanquidade das condições de exposição das paredes. Os revestimentos exteriores da fachada devem conferir ao tosco das paredes o contributo de impermeabilidade suficiente para que o conjunto seja estanque, o que significa que o revestimento deve impedir o humedecimento exagerado e prolongado do material do tosco da parede de forma a evitar a deterioração de ambos, nomeadamente, pelo transporte de sais solúveis contidos no suporte, pela congelação da água, pela contração ou expansão, etc., e evitar a acumulação de água entre o revestimento e o suporte.

Igualmente importante é que o revestimento seja suficientemente permeável ao vapor de água de modo a permitir a passagem para o exterior do vapor proveniente do interior dos edifícios e a água absorvida pelo próprio revestimento, ou ainda, a água que na eventualidade de ter atingido o suporte possa ser devolvida ao exterior sob a forma de vapor, logo que as condições atmosféricas sejam favoráveis.

Regra geral, o revestimento de fachadas deve ser o mais impermeável possível à água e o mais permeável possível ao vapor de água, no entanto, verifica-se que na prática esta situação não é frequente, porque a maior parte das vezes quanto menos permeável à água é o revestimento, menos permeável ao vapor poderá ser o revestimento e vice-versa.

Genericamente, a estanquidade de um revestimento poderá ser avaliada tendo em conta as seguintes exigências: permeabilidade à água sob pressão; absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão.

Os conceitos de revestimento de impermeabilização e de revestimento de estanquidade envolvem a noção de barreira à passagem da água. No primeiro caso a situação de passagem de água é parcial, porque se admite que uma quantidade limitada de água pode atingir o suporte, enquanto no segundo caso é total, porque é exigida a capacidade de impedir totalmente a passagem de água [4].

## 2.2 A INCIDÊNCIA DE FENÓMENOS ANÓMALOS EM FACHADAS

Segundo Paiva [5], a patologia da construção é uma matéria extremamente vasta e complexa. Esta situação, levou a adotar na sua sistematização e apresentação do tipo de anomalias, uma divisão entre, anomalias estruturais e não-estruturais, apesar de em muitos casos essa separação não ser fácil pelo facto de muitas das manifestações anómalas poderem estar associadas a ambos os tipos de anomalias.

Apesar das patologias de carácter não-estrutural poderem ocorrer sob formas muito diversificadas, que têm a ver com as partes afetadas dos edifícios, com a natureza dos materiais e as técnicas de construção utilizados, com as causas e períodos de ocorrência das anomalias, considera que a grande maioria dessas anomalias tem origem na presença de água e na consequente humedificação dos materiais, que é acompanhada pela modificação indesejável de algumas das suas propriedades, afetando o interior do espaço habitado e a durabilidade dos edifícios.

Em Portugal a informação estatística sobre a patologia da construção é escassa, admite-se que a incidência das anomalias em edifícios dos gráficos seguidamente apresentados é semelhante à do nosso País.

O gráfico (Fig. 2.1), adaptado da NIT 210 [6], apresenta as principais patologias da construção apresentadas anualmente ao CSTC pelos vários intervenientes da construção na Bélgica

Este gráfico evidencia que a humidade representa a manifestação patológica mais frequente nos edifícios, com uma percentagem relativa de 31%. Se a esta percentagem somarmos as percentagens das patologias relacionadas com o aspeto e a degradação das fachadas, obtemos mais de 50% de anomalias diretamente ou indiretamente ligadas à patologia humidade, ou seja, torna-se evidente que os fenómenos anómalos de humidade têm um peso muito significativo no património edificado.

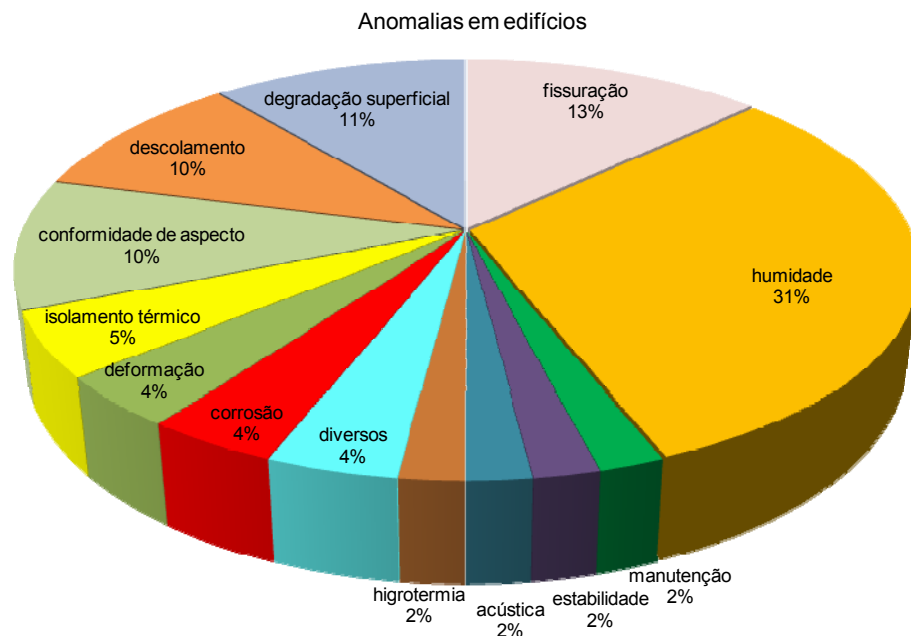


Fig. 2.1 – Distribuição relativa das anomalias em edifícios (Fonte – CSTC)

Complementarmente à informação sobre a importância relativa da anomalia humidade face à globalidade da patologia observada nos edifícios, o gráfico da (Fig. 2.2) [7], apresenta a distribuição pelos vários tipos de manifestação de humidade. A manifestação de humidade com maior peso relativo é “infiltrações nas fachadas”, com 26%.

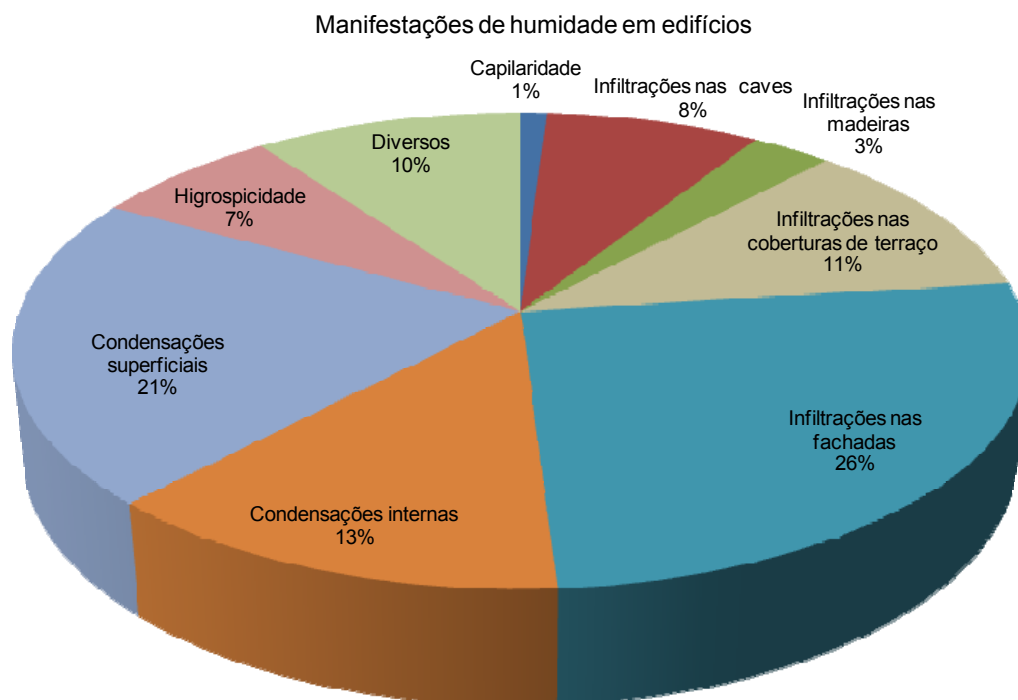


Fig. 2.2 - Distribuição relativa do tipo de manifestações de humidade em edifícios (Fonte - CSTC)

Apesar da importância dos problemas relacionados com a humidade e da necessidade urgente de intervenção que este tipo de anomalias requer, salienta-se a importância de se efetuar um correto diagnóstico das anomalias observadas antes de qualquer intervenção, e que um tratamento de hidrofugação de superfícies de fachadas deve ser considerado apenas como uma potencial solução e não como um tratamento que permite resolver todos os problemas de humidade nos edifícios.

### 2.3 A FISSURAÇÃO DE FACHADAS ASSOCIADA À OCORRÊNCIA DE INFILTRAÇÕES DE ÁGUA DA CHUVA

As fachadas ou envolvente vertical dos edifícios devem constituir uma barreira estanque à água da chuva de forma a evitar que esta atinja os paramentos interiores da fachada e as subsequentes anomalias.

A fraca capacidade de impermeabilização das fachadas é frequentemente associada a dois fenómenos recorrentes da patologia de fachadas, designadamente a fissuração das paredes e a perda de estanquidade numa relação equívoca de causa-efeito.

Por outro lado, os revestimentos por si só não reúnem as condições para assegurar a estanquidade das fachadas nem tal se lhes deve exigir, porque existe a possibilidade da capacidade de impermeabilização dos mesmos estar a ser afetada pela degradação significativa do suporte como por exemplo a fissuração.

Segundo Lucas [3], deverá ser o conjunto parede-revestimento que globalmente deve assegurar a estanquidade requerida das fachadas, ou seja, os revestimentos de impermeabilização devem conferir o complemento de impermeabilidade à água necessário para que o conjunto revestimento-parede seja estanque.



Segundo Dias [8], as fachadas dos edifícios estão sujeitas a diversos agentes externos, entre os quais se destaca a ação da chuva incidente batida pelo vento. Constata-se que as anomalias relacionadas com a infiltração de água da chuva estão associadas a problemas de desempenho das fachadas cuja gravidade depende entre outros fatores da intensidade de precipitação e incidência sobre as mesmas.

A observação do comportamento da envolvente, nomeadamente de fachadas constituídas por paredes de alvenaria, mostra que a possibilidade de infiltração é maior nas fachadas que apresentam fendilhação, e que esta também pode ocorrer em alvenarias intactas e/ou com juntas aparentemente bem executadas, devido às características de relativa permeabilidade da envolvente exterior do edifício, designadamente das próprias paredes exteriores. No início da precipitação, é possível observar que as primeiras gotas projetadas na superfície da fachada de um edifício são rapidamente absorvidas devido à porosidade dos materiais. A partir do momento em que os materiais constituintes da superfície da fachada já não conseguem absorver mais água, esta passa a escoar-se por gravidade ao longo da superfície da parede. A ação contínua da precipitação dá origem à formação de um filme contínuo e abundante de água, com espessura crescente no sentido da zona superior para a base do paramento. Nos paramentos em que existam fendas muito ligeiras, de abertura inferior a 0,1 mm, o filme de água passa por elas sem as penetrar. Quando a ação do vento está associada à ação da chuva incidente, o filme contínuo de água na sua trajetória descendente é forçado penetrar na parede, migrando para o interior da parede através de fendas com abertura significativa, ou seja, superior a 0,1 mm., localizando-se estas fendas mais frequentemente na zona das juntas de argamassa verticais e horizontais. Findo o período de precipitação, uma parte significativa da humidade absorvida pela camada superficial da parede evapora-se pelo processo de secagem, dependendo a velocidade das condições climatéricas (temperatura, humidade relativa do ambiente e vento).

Relativamente à solução de paredes duplas (panos exteriores revestidos ou de panos exteriores de face à vista) frequentemente utilizada em fachadas, a infiltração de água através das mesmas depende dos seguintes aspetos:

- Da exposição das fachadas do edifício que necessariamente influencia a quantidade de chuva incidente;
- Da capacidade do pano exterior resistir à penetração de humidade, que quanto maior for, mais se evitará que esta se acumule na caixa de ar;
- Da eficiência da caixa de ar (preenchida ou não com isolamento térmico), que quanto maior for, melhor será o funcionamento em termos de barreira contra a penetração de água da chuva e evitará o efeito de humidade no pano interior.

Dias [8], refere ainda, que ensaios efetuados in-situ permitiram demonstrar que numa situação de chuva incidente de forma contínua sobre os paramentos de alvenaria exteriores, a água da chuva consegue com grande probabilidade penetrar na alvenaria e acumular-se na caixa de ar, e que apenas é evacuada para o exterior uma parcela desta água. A infiltração de água nas caixas de ar e subseqüentes manifestações de manchas de humidade localizadas nos panos interiores, tem origem não só nos casos em que paredes exteriores têm deficiências tais como fendas ou vazios na argamassa das juntas ou de assentamento, mas também em paredes com uma boa aparência externa, não fendilhadas e com os remates das juntas de argamassa bem executados. De forma a proteger o pano interior das paredes duplas da ação direta da chuva têm-se realizado estudos no sentido da aplicação de orifícios ou aberturas de ventilação nos panos exteriores. O objetivo desses orifícios é reduzir o diferencial de pressão que se estabelece entre o exterior da parede e o seu interior, sendo essa redução especialmente benéfica quando a envolvente do edifício está sujeita à associação das ações de ventos fortes e da chuva intensa.

A ação da chuva batida pelo vento sobre as fachadas de um edifício é geralmente mais intensa nas zonas dos bordos laterais e superior das fachadas, e sobretudo mais intensa nos cantos superiores destas, enquanto na zona central inferior é menos intensa. Assim como, a intensidade da ação da chuva batida pelo vento é também condicionada pela relação altura/largura da fachada do edifício.

A quantificação da intensidade da chuva batida pelo vento sobre as superfícies das fachadas, tem merecido uma atenção especial por parte dos investigadores mais dedicados a estas matérias no sentido do melhoramento e do consenso das metodologias a utilizar. No entanto, essa quantificação torna-se difícil porque depende de uma multiplicidade de fatores, dos quais se destacam os seguintes: a zona climática definida em termos da chuva incidente e do regime dos ventos; a forma do edifício; a orientação das fachadas face à direção predominante dos ventos; a topografia do local e a rugosidade do terreno.

Segundo Henriques [9], a ação da água da chuva por si só não é considerada especialmente gravosa para as fachadas dos edifícios. No entanto, a chuva incidente, ou seja, as ações da chuva e do vento quando atuam de forma combinada podem constituir um fator importante de ocorrência de anomalias.

A água da chuva ao incidir sobre as fachadas dá origem a duas ações, uma dinâmica, que resulta do impacto das gotas da chuva com uma dada energia cinética sobre as superfícies das paredes e outra estática que resulta do fluxo de água que escorre sobre as superfícies em que atua a pressão do vento.

Os materiais de construção correntes absorvem a água da chuva, verificando-se que quanto maior for a sua porosidade maior será a quantidade de água transportada para o interior das paredes. Nas paredes correntes, a existência de fissuração de causas diversas, proporcionam a condução da água para o seu interior pela ação conjunta da pressão do vento e dos fenómenos de capilaridade.

O fenómeno da molhagem das paredes pela ação da chuva incidente pode dar origem a diversas manifestações patológicas contando-se entre as mais frequentes que ocorrem em Portugal e que assumem uma importância económica e social bastante elevada, as seguintes:

- A migração da água para as superfícies interiores das paredes (dando por sua vez origem a outras anomalias);
- O aumento da condutibilidade térmica dos materiais resultante do aumento do respetivo teor de humidade;
- A diminuição brusca da temperatura superficial exterior que ocorre em situações de secagem muito rápida, sob a ação, por exemplo, de tempo seco e vento muito forte.

Durante muito tempo, os problemas de estanquidade das fachadas foram tratados com base em regras empíricas, sendo este conhecimento transmitido ao longo de várias gerações pela tradição oral. O surgimento cada vez mais frequente de novos materiais ao mercado da construção fez com que as denominadas regras “da boa arte” fossem ultrapassadas em virtude destas se revelarem incapazes em satisfazer os requisitos mínimos de qualidade das fachadas.

Henriques [9], refere que a norma inglesa “BS5628-3” sobre alvenarias inclui um conjunto de recomendações relativas à indicação espessuras mínimas que asseguram a estanquidade de paredes simples (Quadro 2.1) e à indicação de fatores que afetam o risco de infiltrações de água da chuva em paredes duplas, tendo estes dados como base os níveis de exposição das paredes à chuva incidente (Quadro 2.2).

Os níveis de exposição são apresentados no Quadro 2.3, no qual se pode verificar que existem sobreposições nas definições de cada nível, dependendo estas da natureza variável dos dados meteorológicos que definem os índices de chuva incidente persistente.

Quadro 2.1 - Espessuras mínimas de alvenarias simples para garantir a estanquidade à água da chuva (excluindo os acabamentos) em mm [9]

| Nível de exposição     | Alvenarias de tijolo de barro vermelho |           | Alvenarias de blocos de betão |                      |           |
|------------------------|--|-----------|-------------------------------|----------------------|-----------|
|                        | c/ reboco                              | s/ reboco | c/ reboco betão normal        | c/ reboco betão leve | s/ reboco |
| Muito abrigado         | 90                                     | 190       | 90                            | 90                   | 190       |
| Abrigado               | 90                                     | 328       | 90                            | 90                   | 328       |
| Moderadamente abrigado | 190                                    | 440       | 190                           | 140                  | 440       |
| Moderadamente severo   | 215                                    | *         | 215                           | 190                  | *         |
| Severo                 | 328                                    | *         | 250                           | 215                  | *         |
| Muito severo           |  |           | **                            |                      |           |

(\*) Não recomendado

(\*\*) Não recomendado. Devem ser utilizados revestimentos descontínuos no interior.

Quadro 2.2 – Fatores que influenciam o risco de infiltrações de água da chuva em paredes duplas [9]

| Fator                           | Acréscimo do risco de infiltrações<br>(No sentido da seta) → |                           |                               |                         |
|---------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|
|                                 | Elementos descontínuos                                       | Rebocos                   | Outros (pinturas, hidrófugos) |                         |
| Acabamento exterior             |  |                           |                               |                         |
| Argamassa de reboco             | Cimento: cal: areia  |                           | Cimento: areia                |                         |
| Tipo de juntas de argamassa     | Com acabamento   |                           | Sem acabamento                |                         |
| Espaço de ar (espessura mm)     | >50  | 50                        | 25                            | 0                       |
| Isolante térmico na caixa de ar | Nenhum   | Preenchimento parcial (1) | Preenchimento total (2)       | Preenchimento total (3) |

1 - Espaço de ar 50 mm

2 - Isolantes térmicos do tipo de fibras naturais ou grânulos de poliestireno

3 - Isolantes térmicos do tipo de espumas de ureia-formaldeído

Quadro 2.3 – Níveis de exposição à chuva incidente [9]

| Nível de exposição | Índice de chuva incidente persistente (l/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|---|
| Muito severo       | ≥ 98  |
| Severo             | 68 a 123  |
| Moderado/Severo    | 46 a 85   |
| Abrigado/Moderado  | 29 a 58   |
| Abrigado           | 19 a 37   |
| Muito abrigado     | ≤ 24  |

## **2.4 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A RESISTÊNCIA DAS FACHADAS À INFILTRAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA**

O facto das superfícies exteriores das fachadas estarem sujeitas à exposição constante das ações climáticas faz com que estas sejam consideradas como a primeira barreira de defesa.

Na construção recente é recorrente surgirem patologias associadas à infiltração de água, em particular, as fachadas mais expostas à chuva incidente batida pelo vento devem merecer uma especial atenção na fase do projeto.

Segundo Alves e Sousa [2], a resistência que as fachadas oferecem à penetração da água deverá ser devidamente dimensionada, não só em função da zona geográfica onde o edifício está construído, mas também segundo a sua orientação.

Os pormenores construtivos existentes nas fachadas, tais como os beirados, as cornijas, etc., têm um contributo importante no desempenho das fachadas. Quando estes estão ausentes ou mal executados, fazem com que a distribuição da água da chuva ao longo de uma fachada não seja uniforme.

As infiltrações nas paredes das fachadas ocorrem normalmente nas juntas de argamassa de assentamento das alvenarias, nas zonas inferiores das paredes com revestimentos impermeáveis, nas zonas fissuradas e nas zonas de ligação das paredes à estrutura ou à caixilharia.

A penetração da humidade de precipitação nas fachadas resulta das seguintes situações:

- Da fissuração resultante dos movimentos diferenciais quando submetidos à ação da temperatura provocada pelo sol, ao assentamento de apoios da estrutura, à deformação da estrutura, etc.;
- Da absorção de água em superfícies porosas, que ocorre quando a água da chuva forma um filme contínuo sobre o paramento exterior da fachada, dando origem à humedificação das paredes e à formação de manchas no paramento interior, quando é uma ação continuada.

A norma inglesa “BS5628”, referida por Alves e Sousa [2], considera como responsáveis pela resistência das paredes às chuvas contínuas batidas pelo vento, os seguintes fatores:

- Presença de elementos superficiais exteriores das fachadas - considera que apenas é totalmente eficaz o revestimento com materiais estanques, tais como chapas metálicas, materiais plásticos, ardósias, etc.
- Refere ainda que a aplicação de tintas e de repelentes de água à base de silicones pode melhorar o desempenho das paredes à penetração da água, mas em condições mais severas, pode também reduzir a evaporação da água contida nas paredes e aumentar o teor de água contido na fachada;
- Qualidade da mão de obra – salienta a importância dos trabalhos serem realizados com qualidade, dando como exemplo que juntas de argamassa defeituosas ou traços de argamassa mal executados darão origem à infiltração de humidade;
- Composição da argamassa de assentamento – refere que a composição desta deverá ser em função do tipo de alvenaria a executar, ou seja, para alvenarias com materiais porosos deverá ser porosa e alvenarias com materiais de grande resistência mecânica, deverá possuir características semelhantes a esses materiais;
- Acabamento a conferir às juntas de argamassa – refere que é essencial o bom preenchimento das juntas das alvenarias para que estas sejam mais resistentes à penetração da água, devendo estas ser bem apertadas com ferramentas apropriadas para minimizar o risco da água penetrar através das juntas;

- Conceção arquitetónica – salienta o facto da água ao escorrer livremente pelas grandes superfícies das fachadas potência o risco de humedecimento das paredes e que esse risco é diminuído com a adoção de goteiras e saliências que desviem parte da água das fachadas;
- Espessura do pano de parede – refere que a resistência à penetração da água em alvenarias não revestidas, como por exemplo o tijolo, depende da espessura e da capacidade de absorção dos elementos que a constituem, enquanto para o betão denso depende mais da espessura.

Apesar de todas as considerações efetuadas sobre as deficiências das paredes exteriores dos edifícios, as fachadas atuais são capazes de satisfazer as exigências funcionais das mesmas, tais como um bom desempenho higrotérmico e estanquidade à água da chuva, etc., desde que sejam concebidas e executadas de acordo com os códigos e regras construtivas adequados [2].

## **2.5 FENÓMENOS QUE CONDICIONAM A TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA NAS FACHADAS**

### **2.5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

As situações de infiltração e difusão de água nas paredes das fachadas dependem de vários fatores que estão relacionados por um lado com as características das paredes das fachadas, nomeadamente o comportamento dos seus materiais constituintes face à ação da humidade e por outro com o comportamento das fachadas face à ação de agentes externos.

Alves e Sousa [2], descrevem vários fenómenos físicos que agindo de forma isolada ou simultaneamente, são responsáveis pela penetração e difusão da água líquida nos materiais de construção, sendo os seguintes: a gravidade; a pressão do vento, a energia cinética das gotas da chuva; e a capilaridade.

- A gravidade – a ação da força da gravidade da terra exerce-se sobre as gotas que atingem as paredes da envolvente do edifício, provocando a penetração de água no caso de existirem fissuras de largura superior a 0,5 mm. Para fissuras de larguras inferiores, a tensão superficial das gotas não permite a penetração das gotas de água.
- A pressão do vento – a pressão do vento sobre as paredes das fachadas depende da velocidade do vento, da geometria do edifício e das disposições construtivas previstas para as paredes.

Quando a chuva atinge com intensidade uma parede constituída por um material pouco permeável, as gotas de água rolam sobre a superfície, formando um filme de água que desliza sobre as pequenas fissuras sem que a água penetre na parede. Quando o filme de água está sujeito à ação do vento, a água penetra na parede mesmo que as fissuras à superfície sejam extremamente finas, ou seja, de largura superior a 0,1 mm. Mesmo quando a água da chuva está associada à ação do vento e for projetada em paramentos com fissuras de largura inferior a 0,1 mm, a água não penetra na parede, verificando-se que esta rola ao longo do paramento.

- A energia cinética das gotas da chuva – o movimento das gotas que atinge as paredes da envolvente vertical do edifício, resulta da ação da gravidade e da pressão do vento, dependendo as trajetórias das gotas de água da dimensão das gotas e da velocidade do vento. As trajetórias das gotas de água de menor dimensão estão mais sujeitas ao fenómeno de dispersão.

As gotas da chuva transportadas pelo vento podem no seu trajeto armazenar energia suficiente para penetrar no interior das paredes em que são projetadas. Este efeito não se

verifica se as fissuras existentes nas paredes tiverem larguras inferiores a uma gama de valores entre os 4 mm a 5 mm, considerando-se para aberturas inferiores, que as gotas rolam sobre a superfície das paredes sem haver penetração das mesmas.

- A capilaridade – constata-se que uma parcela de água que é absorvida pelas paredes é devida à capilaridade dos materiais constituintes da parede. Este mecanismo ocorre quando um material poroso fica em contacto com a água em fase líquida.

O movimento da água no interior dos materiais de construção é fortemente condicionado por três parâmetros que condicionam a sua estrutura, nomeadamente, a porosidade a porometria e a capilaridade.

Nos materiais existem dois tipos de porosidade, a aberta e a fechada (Fig. 2.3).

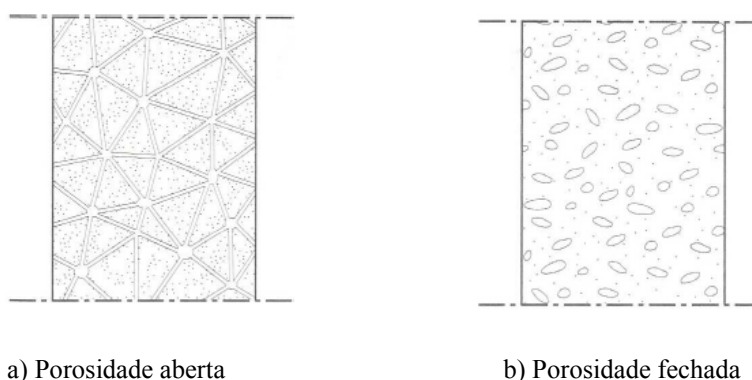


Fig. 2.3 – Tipos de porosidade nos materiais de construção [10].

Praticamente todos os materiais de construção apresentam porosidade aberta, e a sua capacidade de absorver água está diretamente relacionada com a sua porosidade.

No caso de porosidade aberta, os poros formam canais e comunicam entre si, por capilares que favorecem a circulação da água, enquanto que no caso da porosidade fechada os poros do material não comunicam entre si, não permitindo a circulação de água, sendo estes materiais considerados impermeáveis.

O parâmetro porometria do material está relacionado com a repartição dos poros abertos de um material em função das suas dimensões, permitindo explicar o facto de um material com porosidade superior a um outro poder apresentar um tempo inferior de absorção de água.

A capacidade de absorção da água líquida está dependente da porosidade e da porometria dos materiais, e sendo estas características de difícil determinação, criou-se um novo parâmetro que é representativo da capacidade de absorção dos materiais, designado por coeficiente de capilaridade ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}$ ).

Segundo Freitas, [10], os mecanismos que condicionam o transporte da humidade em elementos de construção (nos quais se incluem as fachadas), são complexos, verificando-se que na prática o transporte da água líquida e em fase de vapor ocorre em simultâneo e depende das condições de temperatura, humidade relativa, precipitação, radiação solar, pressão do vento e das características dos materiais.

Existem na fase de vapor e / ou na fase líquida várias formas de manifestação da humidade, tais como: a higroscopicidade dos materiais; as condensações internas e superficiais; a humidade de construção, as infiltrações; as fugas nas canalizações; e a humidade ascensional. Na prática, verifica-se também

que não há muitas vezes uma manifestação isolada mas sim a ocorrência simultânea de uma ou várias formas de manifestação de humidade distintas.

As notas de informação técnica - NIT 224, do CSTC [7], sobre a hidrofugação de superfícies, referem que para além da penetração direta de água através das fissuras ou fendas, a transferência de água em fachadas de edifícios depende sobretudo dos seguintes fenómenos:

- A absorção por capilaridade;
- A secagem/evaporação e difusão do vapor de água.

A absorção por capilaridade não está dependente das ações de pressão do vento e de gravidade para causar a humedificação dos materiais porosos utilizados nas alvenarias de fachadas, tais como betão, argamassas, tijolos, pedras naturais, mas sim da existência nestes materiais de pequenas cavidades que são designadas por poros.

A porosidade de um material é definida pela relação entre o volume total de vazios (poros e canais) e o seu volume aparente, sendo esta normalmente expressa em percentagem. Os poros são comparados a tubos de diâmetro variável ligados uns aos outros formando uma rede capilar dentro dos materiais. Esta rede determina a capacidade de um material absorver uma determinada quantidade de água.

No caso de fachadas expostas, o efeito de capilaridade será agravado pela ação do vento. Dependendo do impacto das gotas de água na superfície das fachadas, a força de gravidade e a energia cinética podem aumentar a penetração da água nos materiais constituintes das fachadas. Assim como, os efeitos do vento, da gravidade ou da energia cinética das gotas da chuva serão majorados em função do estado de fissuração ou fendilhação dos suportes.

#### 2.5.2 TRANSPORTE DE ÁGUA LÍQUIDA

A capilaridade ocorre quando um material poroso fica em contacto com a água em fase líquida, verificando-se a progressão de água líquida através dos poros de um material.

Nos materiais de construção porosos, o transporte de água líquida ocorre principalmente por capilaridade.

Este fenómeno resulta do facto de as forças de atração entre o líquido e o material sólido serem maiores do que as forças de coesão do líquido, verificando-se que a superfície do líquido no interior capilar forma um menisco côncavo e molha o sólido, originando o avanço da água no interior do capilar (Fig. 2.4).

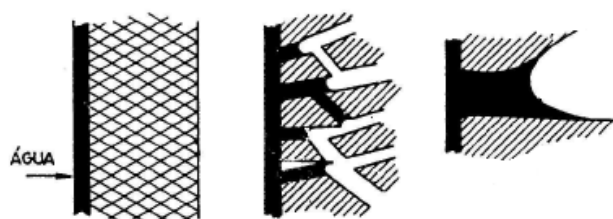


Fig. 2.4 - Fenómeno da capilaridade (adaptado de [10]).

Num tubo capilar vertical imerso num líquido molhante (água) é possível observar no interior capilar da superfície líquida a formação de um menisco côncavo e a subida do líquido ao longo do tubo (Fig. 2.5).

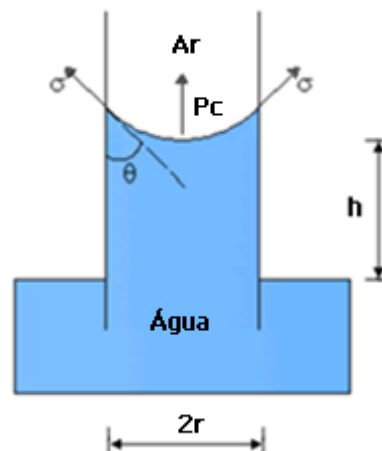


Fig. 2.5 - Pressão capilar dentro de um poro capilar (adaptado de [11]).

A ascensão do líquido no tubo deve-se à diferença de pressão que é gerada na interface entre as fases líquida e gasosa, designada por pressão capilar ( $P_c$ ) e funciona como uma força de sucção. São as forças de interação entre as moléculas de água e as partículas constituintes da parede do tubo que estão na origem deste fenómeno. Quando a pressão no menisco côncavo é inferior à pressão existente na superfície do líquido no recipiente, a coluna de água eleva-se até que atinja o equilíbrio. Este equilíbrio será atingido assim que a pressão hidrostática da coluna do líquido equilibre a pressão diferencial ou excedente, ou seja, quando o peso da coluna de água que em cada momento se opõe à elevação do líquido equilibre as forças que causam esta ascensão. A pressão capilar é expressa pela seguinte equação:

$$P_c = P_{ar} - P_{água} = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r} \quad [\text{N/m}^2] \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Onde  $\sigma$  é a tensão superficial entre a água e o ar ( $\text{N.m}^{-1}$ ),  $\theta$  é o ângulo de contacto da água com o material ( $^\circ$ ) e  $r$  o raio do capilar (m).

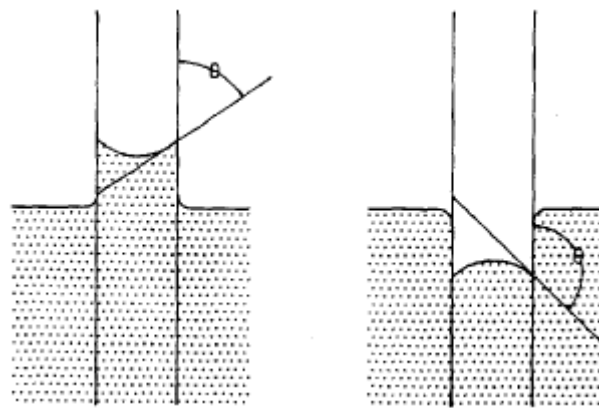
A altura que o líquido pode atingir num capilar pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r} \quad [\text{m}] \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Em que,  $h$  é a altura do líquido no tubo de vidro (m),  $\sigma$  é a tensão superficial entre a água e o ar ( $\text{mN.m}^{-1}$ ),  $\theta$  é o ângulo de contacto da água com o material ( $^\circ$ ),  $\rho$  é a massa volúmica do líquido ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  é a aceleração da gravidade e  $r$  o raio do capilar (m).

No caso de se tratar de um tubo imerso num líquido não molhante, o menisco formado é convexo e a coluna do líquido desce em relação ao nível do líquido exterior. Neste caso, o abaixamento da coluna no interior do capilar resulta de a pressão sobre o menisco convexo ser superior à pressão existente sobre a superfície do líquido do recipiente (Fig. 2.6).





a) Líquido molhante

b) Líquido não molhante

Fig. 2.6 – Movimento do líquido no interior de um capilar [13].

Na prática, a capilaridade dos materiais de construção porosos é determinada com base nos ensaios de capilaridade, que resumidamente consiste na colocação de provetes com dimensões regulares e secção constante em absorção livre através da sua face inferior e depois efetuar pesagens periódicas para avaliar a quantidade de água absorvida ao longo do tempo. A quantidade total de água absorvida  $W$  ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) e a altura de ascensão capilar  $H_C$  (m) são diretamente proporcionais à raiz quadrada do tempo decorrido  $t$  (s), expressa pela seguinte equação:

$$W(t) = A \cdot \sqrt{t} \quad [\text{kg.m}^2] \quad (\text{Eq. 2.3})$$

O coeficiente  $A$ , é o coeficiente de capilaridade ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1/2}$ ). A Fig. 2.7, mostra um gráfico com a curvatura típica de absorção de água por capilaridade de materiais que possuem poros de dimensão homogênea e bem interligados [7, 11, 12, 13].



Fig. 2.7 – Curva típica de absorção de água por capilaridade de um material poroso (adaptado de [11]).

Este gráfico é constituído por dois segmentos retos, correspondendo o primeiro segmento ao preenchimento de água pela grande maioria dos poros e o segundo segmento, ao preenchimento adicional dos restantes poros através da difusão na água do ar retido no sistema poroso [7, 11, 12].

As características de um material poroso são definidas em função do tamanho dos seus poros e da rede capilar nomeadamente [7]:

- A altura máxima de ascensão capilar: quanto mais finos são os poros, mais a água pode atingir uma altura considerável;

- A velocidade de ascensão capilar: quanto maior for o diâmetro dos poros, mais rapidamente a água se eleva no material.

### 2.5.3 TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA

O transporte de vapor de água ocorre quando o material é sujeito a um gradiente de pressão de vapor. Por outras palavras, a transferência de humidade por difusão de vapor através de elementos construtivos é consequência das diferenças de concentração de vapor de água entre as suas faces. Estas diferenças de concentração originam um transporte molecular que se mantém até que as concentrações sejam equilibradas. Este transporte é função da diferença de pressões, da permeabilidade ao vapor dos materiais e das suas espessuras [11, 12].

Quando o transporte de humidade se dá exclusivamente por difusão de vapor, o fluxo de difusão que atravessa esse elemento, é obtido pela lei de Fick, sendo a expressão a seguinte:

$$g = \pi(T, HR) \frac{d_p}{d_x} \text{ [kg. m}^{-2}\text{]} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Em que:

$g$ : é a densidade do fluxo de difusão de vapor de água - [kg/(m<sup>2</sup>.s)]

$\frac{d_p}{d_x}$ : gradiente de pressão de vapor de água - [Pa/m]

$\pi(T, HR)$ : Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do material sob a ação de um gradiente de pressão de água, em função da temperatura e da humidade relativa - [kg/(m.s.Pa)]

O valor de  $\pi$  não é constante, variando sobretudo com a humidade relativa da ambiência em que se encontre o material, no entanto, por simplificação, considera-se frequentemente que o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água é constante, o que significa que:

$$\frac{d_p}{d_x} = 0; \frac{d_\pi}{d_{HR}} = 0$$

O valor de  $\pi$  [kg/(m.s.Pa)], é uma grandeza que é específica de cada material e corresponde à quantidade de vapor de água que atravessa uma espessura unitária de material (m), por unidade de tempo (s), de superfície (m<sup>2</sup>) e de diferença de pressão de vapor (Pa).

A humidade relativa tem uma grande influência na permeabilidade ao vapor de materiais com propriedades higroscópicas. A permeabilidade ao vapor aumenta consideravelmente se os valores de humidade relativa forem elevados. A humidade não tem praticamente influência na permeabilidade ao vapor se os materiais forem pouco higroscópicos.

No caso de superfícies tratadas com produtos hidrófugos existe o risco de estas funcionarem como barreiras à passagem de vapor de água se não forem efetuados estudos de transporte de humidade antes e após a aplicação deste tipo de tratamentos.

A permeabilidade é uma característica muito importante nos elementos da construção, nomeadamente fachadas, porque permite a “respiração”, ou seja, as trocas de vapor de água e outros gases entre o interior e o exterior das construções. Estas trocas de vapor são facilitadas, quando o elemento construtivo é constituído por camadas sucessivamente mais permeáveis do interior para o exterior. As condições de permeabilidade pré-existentes serão alteradas se a aplicação do produto hidrófugo

constituir uma camada menos permeável que o suporte. Esta situação diminuirá a capacidade de “respiração” do elemento, e pode dar origem a patologias no seu interior.

A difusão (permeabilidade) do vapor de água caracteriza a passagem da humidade sob a forma de vapor através de um material relativamente seco. Esta propriedade é frequentemente considerada para identificar os efeitos secundários dos tratamentos hidrófugos nas superfícies dos materiais das fachadas, embora se considere que a permeabilidade seja pouco influenciada por estes tratamentos, e pela profundidade dos mesmos [7, 11, 12].

#### 2.5.4 SECAGEM DE MATERIAIS HÚMIDOS

Sinteticamente podemos definir a secagem como sendo o processo pelo qual a água abandona os materiais porosos. Este processo de secagem pode ser decomposto em três fases distintas, sendo as duas primeiras as principais. A evolução ao longo do tempo do teor de água num material poroso previamente saturado pode ser analisada com a ajuda do gráfico abaixo (Fig. 2.8), considerando-se que a evaporação nesse material é unidirecional.

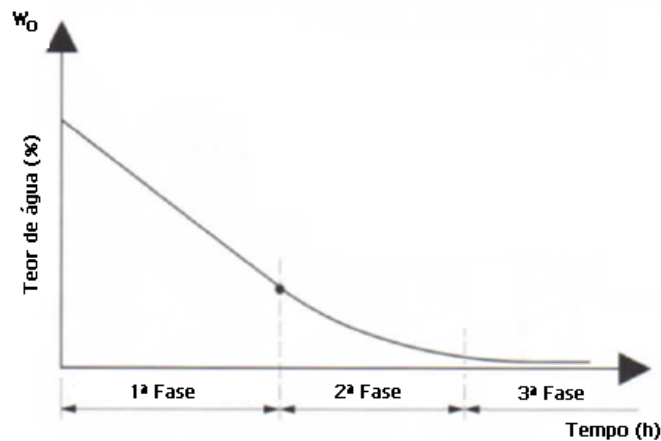


Fig. 2.8 - Evolução característica do teor de água de um material poroso durante a secagem (adaptado do CSTC) [7].

No decorrer da primeira fase, a secagem (evaporação) é elevada e ocorre a uma taxa constante, o que significa que as forças capilares permitem o transporte do interior da parede de água em quantidade suficiente para alimentar a evaporação superficial (onde se localiza a frente de secagem), dependendo esta da ambiência exterior. Nesta fase, o teor de humidade do material diminui linearmente, mas mantém-se uniforme ao longo da espessura do material.

As condições exteriores, tais como a humidade relativa, temperatura e velocidade e orientação do vento têm uma grande influência sobre o processo de velocidade de secagem.

A velocidade de secagem, não está apenas dependente das condições do ambiente exterior porque esta depende também das dimensões dos poros do material, quanto mais finos forem os poros, mais lenta será a secagem.

Constata-se que a aplicação de um hidrorrepelente com alguma capacidade de penetração num substrato pode reduzir significativamente a velocidade de secagem, apesar da estrutura dos poros não ser alterada pelo tratamento. Neste caso a secagem só se verifica na zona imediatamente a seguir à zona que foi tratada.

Quando o fluxo capilar se torna insuficiente para compensar a evaporação superficial no material poroso, ou seja, quando a água líquida existente nos capilares já não consegue atingir a superfície do material e o teor de água atinge o ponto crítico, a evaporação na superfície deixa de se efetuar e a frente de secagem/evaporação começa a recuar para o interior do material, dando origem à segunda fase de secagem.

A transição entre a primeira e a segunda fase de secagem é facilmente identificada no gráfico da curva típica de secagem através do ponto de inflexão que se situa na transição entre o troço reto e o início da curva.

Na segunda fase a velocidade de secagem diminui pelo facto da evaporação se produzir no interior do material. Esta fase ocorre a uma taxa de secagem decrescente considerando que as condições atmosféricas são constantes. O transporte de humidade no espaço poroso passa a ser realizado por capilaridade até à frente de secagem e depois por difusão do vapor de água até à superfície. O recuo progressivo da frente húmida/evaporação nos capilares aumenta o percurso da difusão de vapor, o que resulta numa secagem progressivamente mais lenta.

A transição entre a segunda e terceira fase é normalmente indefinida. Durante a segunda fase, o teor de água do material na zona húmida sofre um decréscimo gradual, até que a dada altura deixa de haver continuidade líquida no espaço poroso atrás da frente de evaporação ou frente húmida, passando o transporte de vapor de água a fazer-se em todos os capilares por difusão, iniciando-se a terceira fase de secagem. Esta fase é caracterizada por uma taxa de secagem que diminui lentamente até atingir o teor de água de equilíbrio higroscópico, ou seja, o estabelecimento do equilíbrio entre o meio ambiente e o material. A secagem total de um material apenas se consegue atingir com a utilização de métodos de secagem artificial [7, 11, 12].

## **2.6 EVOLUÇÃO HISTÓRICA E CIENTÍFICA DA PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DE FACHADAS**

A aplicação de tratamentos na superfície dos materiais das fachadas dos edifícios com a finalidade de protegê-las contra os agentes atmosféricos, particularmente, a água da chuva incidente, não é um desenvolvimento dos tempos modernos, mas sim é uma técnica com origem milenar, conforme é descrito por vários autores que desenvolveram trabalhos na área da conservação da pedra.

A procura de técnicas com o objetivo de controlar a penetração da água nas construções remonta à antiguidade, havendo registos da proteção das rochas em templos gregos e romanos, através da aplicação de substâncias hidrorrepelentes, sobretudo óleos e ceras [15].

Com o advento da revolução industrial e o desenvolvimento da indústria química surge o interesse pela conservação da pedra, nomeadamente dos monumentos que sofreram uma aceleração no processo de degradação devido ao facto de estarem sujeitos a grandes quantidades de substâncias poluentes provenientes da queima do fuel e do carvão que eram utilizados como combustíveis nas numerosas fábricas.

No início do século XX as causas de deterioração da pedra foram estudadas em profundidade e surgiram novos tratamentos e várias publicações específicas sobre o assunto.

Após a segunda Guerra Mundial, assiste-se a um crescente desenvolvimento industrial, nomeadamente da indústria petroquímica e subsequentemente ao aumento da poluição atmosférica. Muitos foram os produtos utilizados sobre os monumentos em pedra, no sentido de proceder à sua limpeza e consolidação para melhorar as características de coesão e de adesão entre os constituintes da pedra, modificando a sua estrutura porosa e tornando-a menos acessível à água. Se por um lado foi nessa

altura notório o interesse atribuído ao tratamento da pedra, por outro lado, verificou-se muitas vezes más experiências devido à falta de conhecimento sobre as pedras e os produtos adequados para as tratar.

A partir da década de sessenta, verificou-se um interesse crescente sobre a conservação e da aplicabilidade dos diversos tipos de tratamentos, verificando-se que a investigação sobre este assunto continuou até aos nossos dias. Prova disso, foi a criação de comissões internacionais que trabalham sobre a égide da UNESCO e da RILEM, a colaboração de cientistas de vários países e a realização de conferências e encontros especialmente dedicados a este problema.

Na atualidade, com o objetivo de proteger do património histórico e artístico são muito usados produtos acrílicos e silicões, sendo estes por vezes misturados e adicionados de fungicidas e bactericidas como medida de proteção contra o ataque biológico. Estes produtos constituem uma fina película de proteção contra a humidade e os poluentes atmosféricos, estando esta destinada a ser erodida e a descamar com o tempo. Esta proteção de superfície é frequentemente designada na literatura inglesa por “sacrificial layer”, dependendo a sua eficácia e duração não só da composição química como das condições da superfície sobre que são aplicados. Em alvenarias onde a ação dos sais é relevante é prática comum a utilização de hidrófugos de superfície para procurar eliminar as eflorescências e os danos superficiais.

Na construção recente, é também comum a utilização de hidrófugos de superfície em materiais porosos, em especial de fachadas de alvenaria à vista e de betão, seja, em construção nova (alvenarias acabadas de construir) ou intervenções de manutenção.

No primeiro caso, as aplicações de hidrorrepelentes são geralmente efetuadas como uma medida de prevenção contra a penetração pela água e os problemas com ela relacionados, enquanto no segundo caso os tratamentos hidrorrepelentes são aplicados com o objetivo de reduzir ou eliminar a penetração da água num edifício que apresenta problemas de penetração de humidade [14, 15].

## **2.7 SUPERFÍCIES HIDROFÓBICAS VERSUS MOLHABILIDADE**

Na verdade, nenhum dos produtos desenvolvidos pelo homem para proteger e manter limpas as fachadas é comparável com a perfeição da mãe Natureza. Apesar de esta ser uma fonte inesgotável de ideias que podem ser utilizadas nas tecnologias mais inovadoras, ainda não se conseguiu combinar na perfeição, biologia e tecnologia de forma a ser possível obter propriedades de hidrorrepelência e autolimpeza nas superfícies das fachadas com a eficácia e durabilidade das folhas das plantas.

Na natureza podemos facilmente observar que as folhas das plantas repelem a água com uma enorme eficácia (Fig. 2.9), em particular a planta de lótus. Nesta, é possível verificar que a água é incapaz de molhar as suas folhas e que as gotas de água transportam as partículas de sujidade rolando sobre as superfícies das folhas, ficando estas limpas e secas após cada ocorrência de chuva. Este fenómeno natural, normalmente conhecido por “Efeito Lótus” ou também por efeito de “superhidrofobicidade”, por ser facilmente observado na planta do Lótus, tem sido objeto de estudo pelos cientistas que querem desenvolver materiais que imitam as propriedades hidrofóbicas da folha do Lótus, pelo facto destas propriedades poderem ser vantajosas numa infinidade de aplicações possíveis, nomeadamente na envolvente vertical de edifícios.



Fig. 2.9 – Gotas de água sobre folhas de plantas (adaptado de [38]).

A planta de Lotus é uma planta nativa da Ásia que tem a propriedade distinta de manter as suas folhas particularmente limpas. Mesmo num habitat com sujidade e empoeirado as folhas desta planta têm a característica notável de repelir a água, ou seja, têm propriedades hidrofóbicas (Do grego, Hidro=água, Fobos=medo).

A folha de lótus é coberta por milhares de saliências, mais propriamente cristais de cera microscópicos que impedem a acumulação de substâncias estranhas (Fig. 2.10).

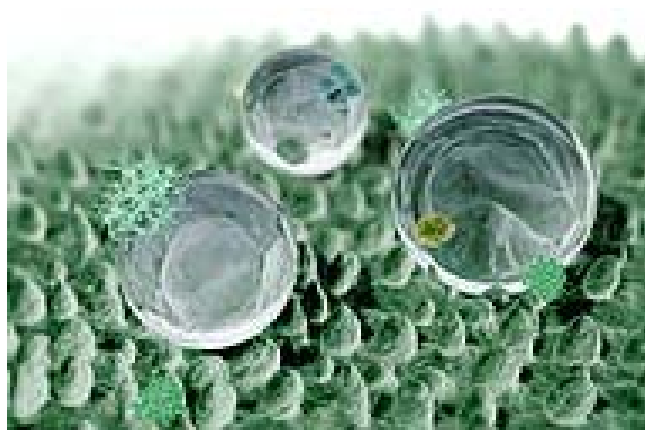


Fig. 2.10 – Micrografia mostrando gotas esféricas de água sobre a estrutura de uma folha de Lótus [16]

As pequenas saliências reduzem praticamente a área de contacto entre a água e a superfície da folha, o que permite que a autoatração da molécula polar da água possibilite a formação das gotas esféricas.

As gotículas de água quando entram em contacto com as folhas desta planta ficam suspensas nos minúsculos altos que agem como um repelente de água. Por sua vez, a inclinação da folha faz com que a água escoe sem que esta toque na superfície da folha. Este efeito hidrofóbico ou hidrorepelente, permite não só que a folha do lótus fique seca, mas também limpa em virtude das gotículas arrastarem por rolamento as partículas de sujidade. O efeito da autolimpeza é de enorme importância para as plantas porque atua preventivamente como uma propriedade de defesa contra agentes patogénicos como fungos, esporos, pó e/ou o crescimento de algas e torna mais eficaz o processo de fotossíntese, permitindo evitar a contaminação da área de superfície da planta exposta à luz.

A hidrofobicidade de uma superfície pode ser quantificada através de um goniómetro, que mede o ângulo de contacto estático de uma gota de um líquido com uma superfície em estudo.

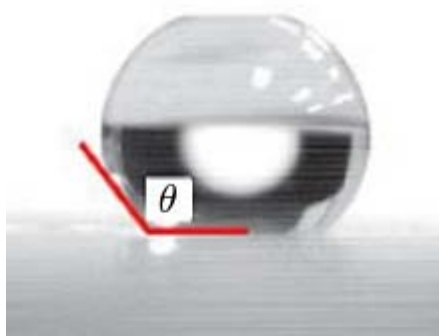


Fig. 2.11 – Ângulo formado por uma gota de água numa superfície hidrofóbica [16].

A hidrofobicidade de uma superfície é determinada pelo ângulo de contacto  $\theta$  (Fig. 2.11). Por definição, uma superfície hidrofóbica é aquela que tem repulsão à água e cujo ângulo de contacto de um material com a água é superior a  $90^\circ$ , sendo tanto maior a hidrofobicidade quanto maior for ângulo de contacto, assim como será menos “molhável” o material. Por outro lado, uma superfície será considerada hidrofílica quando possui valores de ângulos de contacto até  $50^\circ$ .

A equação de Young relaciona a tensão superficial com o ângulo de contacto  $\theta$  (Eq. 2.5), em que  $Y$  é a tensão superficial e  $S$ ,  $L$  e  $G$  são as fases: sólida, líquida e gasosa, respetivamente.

$$\cos \theta = \frac{Y_{SG} - Y_{SL}}{Y_{LG}} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

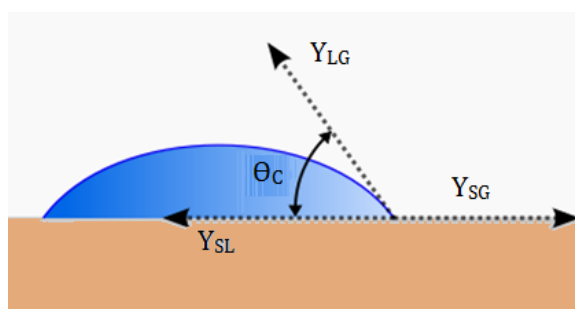


Fig. 2.12 – Ângulo formado por uma gota de água numa superfície hidrofóbica (adaptado de [16]).

Algumas superfícies são designadas de super-hidrofóbicas porque apresentam um ângulo de contacto que pode atingir o valor máximo de  $160^\circ$ , o que significa que apenas 2 a 3% de uma gota se encontra em contacto com as folhas. A super-hidrofobicidade pode ser definida segundo dois critérios: um ângulo de contacto da água com a superfície muito elevado e um ângulo de inclinação, através do qual uma gota de água abandona a superfície, muito baixo.

Existem plantas com uma superfície duplamente estruturada, como a planta de Lótus, com um ângulo de contacto que pode chegar a  $170^\circ$ , o que significa um contacto real de uma gota com a superfície de 0,6%. O valor deste ângulo de contacto só é possível na planta de Lótus devido ao ar que fica preso entre as saliências de dimensões nanométricas e as gotas de água [16, 22].

## 2.8 PROTEÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS RECENTES COM PRODUTOS REPELENTES DE ÁGUA

### 2.8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nas últimas décadas, têm sido realizadas várias investigações sobre a eficácia de vários materiais de impermeabilização e de consolidação efetuadas sobretudo no campo da conservação de pedra. Com

base nos conhecimentos e requisitos desses materiais surgiram outras formulações, nomeadamente para a impermeabilização e consolidação de tijolo de face à vista.

Os hidrorrepelentes utilizados são regra geral produtos incolores dissolvidos em solventes orgânicos ou em água, que devem satisfazer os seguintes requisitos [17, 23]:

- Redução da absorção de água (valores superiores a 70%);
- Redução da difusão de vapor de água (valores inferiores a 10%);
- Material de impermeabilização com uma boa capacidade de penetração;
- Não alteração de cor na superfície do material de construção;
- Eficácia de longa duração (pelo menos 10 anos);
- Possibilidade de repetir o tratamento;
- Compatibilidade com outras modalidades de conservação.

O solvente tem a função de transportar as substâncias ativas e de alcançar profundidade de penetração elevada. Compostos de silicone orgânico, como por exemplo silanos, siloxanos são os produtos mais utilizados para repelência à água nas fachadas com tijolo cerâmico à vista.

A eficácia dos produtos de ação repelente à água, é determinada através da absorção de água, da profundidade de penetração e de permeabilidade ao vapor de água. A absorção de água e o ângulo de contacto são considerados métodos adequados para a determinação da eficácia e da profundidade de penetração.

A obrigação de não reduzir mais de 10% a permeabilidade ao vapor não é realista, porque no material não tratado é possível obter variações até 30% [17].

A aplicação de produtos hidrorrepelentes pode ser benéfica para as fachadas, não só preventivamente mas também pode resolver alguns tipos de deterioração. Por outro lado, um tratamento pode levar a danos substanciais nas fachadas especialmente quando os sais estão presentes nos substratos. É muito importante que a escolha do hidrorrepelente tenha em conta o tipo de substrato e o efeito do tratamento sobre este. O valor de pH do substrato quando associado à presença de sais pode ter influência sobre a eficácia de um tratamento repelente à água.

Muitos dos danos estéticos e funcionais de natureza físico-química e/ou biológica nos materiais de construção das fachadas são devidos à presença de água, sendo os mais comuns, a sujidade, os danos causados pela ação do gelo / degelo, a formação dos chamados sais de dilatação, a cristalização de sais e o crescimento de algas. A água pode penetrar sob a influência de uma certa pressão, mas, também pode ser absorvida por um meio poroso sob a influência das chamadas forças capilares. Os tratamentos repelentes de água são destinados a suprimir essas forças. Assim, ao invés de bloquear os poros, os produtos hidrorrepelentes apenas alteram a tensão superficial das paredes dos poros, verificando-se que a água só pode penetrar nos poros se for exercida uma suficiente pressão externa ou se houver uma sob pressão interna suficiente.

Uma pequena penetração do repelente de água no meio poroso do substrato reduz substancialmente a absorção de água, verificando-se que um tratamento superficial é suficiente para criar o efeito repelência da água, frequentemente designado na língua inglesa por efeito “beading”.

No entanto, devido à existência de imperfeições no substrato um tratamento superficial raramente é eficaz. A profundidade de penetração é um fator determinante para que o substrato atinja a máxima resistência à pressão da água, dependendo esta do tamanho dos poros e da presença de fissuras e outras heterogeneidades no substrato.



Qualquer tratamento hidrorrepelente realizado sobre um substrato estará sujeito a fatores de degradação, sendo o desgaste deste devido geralmente a forças externas. Um tratamento realizado muito à superfície irá evidenciar as imperfeições deste a muito curto prazo pelo que a sua durabilidade estará muito dependente da profundidade de penetração.

Uma zona tratada com repelente de água e cujo tratamento tenha sido efetuado superficialmente será uma zona que quando exposta à ação da água brilhará como se tratasse de um material molhado e apresentará uma cor mais escura.

Regra geral, as manchas de humidade em substratos tratados com repelentes de água dependem da profundidade de penetração e a visibilidade destas dependerá também da tonalidade mais ou menos acentuada do substrato. Por sua vez, a profundidade de penetração dependerá da quantidade do agente repelente de água absorvida pelo material e que vai cobrir as paredes dos poros.

Não existe uma relação simples entre a quantidade de produto hidrorrepelente necessária e a porosidade do substrato, pelo que a quantidade necessária para atingir uma certa profundidade de penetração no substrato devem ser determinadas experimentalmente.

A aplicação de um tratamento repelente de água num substrato com sujidade vai inevitavelmente provocar uma absorção não homogénea do tratamento. Os substratos nestas condições devem ser previamente limpos porque caso contrário o resultado final será apenas uma pequena impregnação do agente repelente.

A experiência mostra que é muito difícil, senão quase impossível, conseguir uma penetração homogénea do repelente de água quando a aplicação é realizada com um rolo ou pincel de pintura. Para se conseguir resultados satisfatórios com estas técnicas é necessário aplicar uma maior quantidade de repelente de água. Melhores resultados serão conseguidos utilizando técnicas de pulverização. Esta técnica será mais eficaz sobretudo quando o substrato contém fissuras ou superfícies pronunciadas.

A aplicação deve ser efetuada preferencialmente de baixo para cima e em duas fases, usando de cada vez cerca de metade da quantidade a ser aplicada no total sendo esta situação especialmente recomendável quando a fachada não for previamente limpa. O agente repelente de água ao ser aplicado nesta situação fica sujo e não é absorvido de forma equitativa por todos os tijolos e juntas, verificando-se que esta recomendação de aplicação permitirá homogeneizar a quantidade do agente repelente nas duas fases de aplicação, isto é, se na primeira fase os tijolos e juntas que absorveram menos produto, deverão absorver mais na segunda fase e vice-versa. Este procedimento é válido especialmente quando o agente ativo é diluído com um líquido que é capaz de dissolver substâncias gordurosas. Se não tiver capacidade de dissolver tais substâncias como é o caso dos agentes repelentes à base de água, vai ser difícil atingir resultados aceitáveis se o substrato não for limpo previamente [18].

Quando um material de construção poroso entra em contacto com a água (líquida), a água é absorvida para dentro dos poros do material por forças capilares. As forças capilares são determinadas através: da tensão superficial do líquido, o ângulo de contacto entre o líquido e as paredes dos poros e do diâmetro dos poros. Poros apertados ou de pequeno diâmetro tem como consequência concentrar mais humidade do que os poros mais largos, assim como, um líquido viscoso é menos (rapidamente) atraído do que uma substância líquida fina.

No contexto dos tratamentos hidrofóbicos, o ângulo de contacto ( $\Theta$ ) é determinante na avaliação de superfícies não-hidrofóbicas (hidrófilas) e superfícies hidrofóbicas.

Um pequeno ângulo de contacto indica uma atração molecular entre o líquido e o substrato. Quando uma gota de líquido se espalha sobre uma superfície plana, o menisco num capilar encontra-se acima do nível do líquido circundante e é oco no sentido do lado seco (Fig. 2.13).

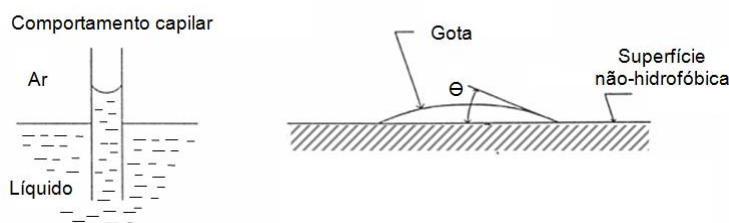


Fig. 2.13 – Interação entre a água e uma superfície não-hidrofóbica (adaptado de [37]).

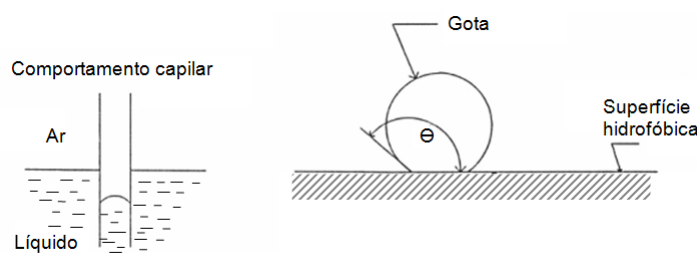


Fig. 2.14 – Interação entre a água e uma superfície hidrofóbica (adaptado de [37]).

Na ausência de tal atração molecular entre a substância sólida e um líquido, uma gota permanece na superfície sob a forma de uma esfera, a altura de elevação é negativa, isto é, o nível do líquido no tubo capilar é inferior à do ambiente líquido envolvente e o menisco é convexo no lado seco (Fig. 2.14).

Este fenómeno é-nos bastante familiar, podendo facilmente ser observado através do comportamento do mercúrio em vidro ou da água em papel engordurado.

O enfraquecimento da atração molecular entre água e o substrato de material poroso é precisamente o objetivo de um tratamento hidrofóbico, em que a superfície se torna repelente à água. Este objetivo pode ser atingido através da impregnação do substrato poroso com agentes hidrofóbicos de água, tais como os silicones [37].

## 2.8.2 SELEÇÃO DO TIPO DE HIDRORREPELENTE

Os agentes repelentes de água têm comportamentos diferentes em função dos diferentes substratos em que são aplicados. Essa diferença de comportamento é devida não só ao tamanho dos poros e sua distribuição, mas também ao facto de os vários agentes repelentes apresentarem diferentes tamanhos moleculares.

Dos produtos hidrorrepelentes conhecidos, os compostos sílico-orgânicos, os silicones, são os que têm demonstrado mais vantagens na sua utilização. São caracterizados por elevadas características hidrófugas, pela durabilidade e resistência aos fatores atmosféricos, aos produtos químicos e aos micro-organismos. Quando aplicados sobre os materiais, formam filmes extremamente finos e praticamente invisíveis, aderem bem aos substratos, têm uma boa resistência a temperaturas elevadas e não retêm poeiras. A fraca viscosidade permite aos silicones penetrarem profundamente nos poros dos substratos porosos, formando finas camadas hidrófugas.

Os silicones são compostos de silício e carbono. O silício é o principal constituinte destes compostos e a sua característica mais interessante é a capacidade de ligação com ele próprio para dar origem a compostos análogos aos orgânicos [13, 14].

Os silicones são baseados em cadeias (Si-O-Si) e por radicais apolares que são os responsáveis pela repelência à água. Quanto maior for o radical, maior será a eficiência e a durabilidade do produto hidrorrepelente. Normalmente, os radicais mais utilizados são o metil ( $\text{CH}_3$ ), o propil ( $\text{C}_3\text{H}_7$ ) e o octil ( $\text{C}_8\text{H}_{17}$ ), estando o seu tamanho diretamente relacionado com o número de átomos de carbono. [40].

Os compostos silicónicos mais simples são designados por silanos e resultam da combinação do silício com o hidrogénio. A estrutura molecular dos silanos consiste numa cadeia de átomos de silício unidos covalentemente a átomos de hidrogénio dando origem a compostos com a fórmula geral ( $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ ) [13, 14].

A estrutura química geral dos silanos está ilustrada na (Fig. 2.15 - a). Esta estrutura é formada por um átomo de silício que está ligado a um radical apolar e três grupos alcóxi ( $\text{OR}'$ ). Na (Fig. 2.15 - b), está exemplificada a estrutura molecular de um silano.



Fig. 2.15 – Estrutura química geral de um silano e exemplificação (adaptado de [37, 40]).

Os siloxanos são formados por cadeias de três a oito átomos de silício. Na fig (Fig. 2.16 - a), está ilustrada a estrutura química geral dos siloxanos. Na (Fig. 2.16 -b), está exemplificada a estrutura molecular de um siloxano [24, 36, 37, 40].

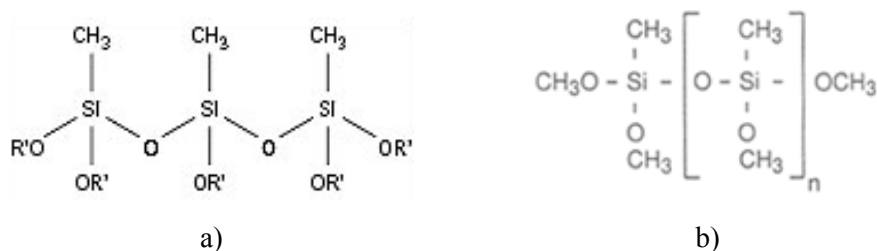


Fig. 2.16 – Estrutura química geral de um silano e exemplificação (adaptado de [37, 40]).

As propriedades de hidrorrepelência dos compostos silicónicos resultam do facto destes produtos formarem na zona superficial uma barreira não-polar que não exerce atração sobre as moléculas da água. Dado que as superfícies dos materiais de construção correntes são polares, isto é, constituídas por grupos OH (oxigénio e hidrogénio), verifica-se que as moléculas dos líquidos polares são fortemente atraídas para este tipo de superfícies, devido à atração elétrica entre os átomos de hidrogénio (positivo) e oxigénio (negativo).

Os produtos hidrófugos de superfície, tais como os silicones de radical metil, são constituídos por uma parte mineral ligeiramente polar (Si-O) e por uma parte orgânica não-polar ( $\text{CH}_3$ ). Quando a parte da

molécula de silicone é atraída pelos grupos OH da superfície do material, origina que a parte não-polar da molécula seja orientada para o exterior, formando-se uma barreira não-polar, ou seja, uma fraca atração das superfícies hidrófobas pela água, originado que uma gota de água colocada sobre estas superfícies, adote uma forma esférica que será tanto mais pronunciada quanto maior for a hidrorrepelência da superfície [1].

Os silanos distinguem-se pelo menor tamanho molecular e, portanto, são a melhor escolha para o caso de um substrato poroso fino, os siloxanos são mais polimerizados do que os silanos. Os siloxanos oligoméricos e os siloxanos poliméricos consistem respetivamente, em curtas e mais longas cadeias de moléculas de silano. As chamadas resinas de silicone são totalmente polimerizadas e são menos adequadas para substratos com poros mais finos. Infelizmente, as moléculas de menor dimensão conduzem a perdas mais elevadas por evaporação o que implica que os silanos sejam aplicados em concentrações mais elevadas tornando-os evidentemente mais caros [18, 13, 14]

Os silanos distinguem-se pelo menor tamanho molecular e, portanto, são a melhor escolha para o caso de um substrato poroso fino, os siloxanos são mais polimerizados do que os silanos. Os siloxanos oligoméricos e os siloxanos poliméricos consistem respetivamente, em curtas e mais longas cadeias de moléculas de silano. As chamadas resinas de silicone são totalmente polimerizadas e são menos adequadas para substratos com poros mais finos. Infelizmente, as moléculas de menor dimensão conduzem a perdas mais elevadas por evaporação o que implica que os silanos sejam aplicados em concentrações mais elevadas tornando-os evidentemente mais caros [13, 14, 18, 37]

Assim, por razões económicas a escolha de um repelente de água deve também depender da facilidade de penetração no substrato. Os repelentes de água geralmente desenvolvem a sua repelência à água só após alguma reação química. Silanos e siloxanos por exemplo, precisam reagir com água e siliconatos (sais de silicone) geralmente desenvolvem a sua repelência à água após a reação com dióxido de carbono. O valor do pH do substrato influencia estas reações, verificando-se por exemplo, que os silanos precisam de um ambiente alcalino e que os siliconatos funcionam melhor num ambiente ligeiramente ácido. Os silanos serão a escolha correta para materiais sílico-calcários e outros materiais calcíticos, pelo facto destes materiais terem geralmente poros mais finos. Tem-se também verificado que alguns dos agentes repelentes não desenvolvem completamente as suas capacidades na presença de alguns sais. Daqui resulta que, em alguns casos, a aptidão de um repelente de água deve ser previamente testada com o substrato particular [18].

### 2.8.3 A TEMPERATURA DE APLICAÇÃO

Geralmente as reações químicas dão-se mais rapidamente quanto maior a temperatura. Baixas temperaturas fazem com que exista o risco do agente desenvolver as suas propriedades repelentes de água muito lentamente relativamente à sua taxa de evaporação, verificando-se passado algum tempo que não há qualquer repelência de água na superfície do substrato. Este fenómeno tem sido frequentemente observado na aplicação de silanos. Por outro lado, verifica-se também que as chuvas logo após a aplicação podem lavar o agente repelente. Daqui resulta que, por razões práticas deve-se optar por agentes repelentes com tempos de reação mais curtos [18].

### 2.8.4 OS BENEFÍCIOS E CONSEQUÊNCIAS DOS TRATAMENTOS HIDRORREPELENTES

A fixação da sujidade nos substratos das fachadas resulta não só da deposição de partículas existentes no ar, mas sobretudo da ação das forças de capilaridade. Logo que estas forças sejam anuladas através da aplicação de um tratamento hidrorrepelente, tais partículas em suspensão podem facilmente ser

lavadas do substrato. A lavagem é normalmente realizada pela ação da água da chuva que bate no substrato e pela capacidade desta em escoar, dado que não está a ser absorvida. Este fenómeno explica a razão dos substratos sendo tratados com um repelente de água tenderem a ficar limpos por algum tempo. No entanto, é importante referir que a ação de limpeza provém do fluxo de água e que este efeito de limpeza só pode ser ocorrer se a água da chuva for capaz de chegar a esse substrato e poder escoar-se livremente.

Isto significa por exemplo que um beiral, que por si só é um elemento construtivo recomendável, pode inviabilizar este efeito potencialmente benéfico do tratamento hidrorrepelente, e que a solução passará por fazer-se uma limpeza nas áreas protegidas da chuva ao longo do tempo [18].

#### 2.8.5 CRESCIMENTO BIOLÓGICO

O crescimento biológico (algas, líquenes, musgos, fungos e bactérias) nas fachadas normalmente é encarado do ponto de vista estético e não como uma anomalia prejudicial ao substrato.

A ação da colonização biológica depende do valor do pH da superfície, da presença da humidade, da temperatura, da luz e dos nutrientes existentes nas superfícies.

As superfícies que permanecem húmidas por longos períodos são os locais mais sujeitos a este tipo de ação. A menor exposição ao sol e as rugosidades facilitam a fixação dos agentes.

A ocorrência de filmes de água sobre as fachadas tende a criar e manter um ambiente propício ao crescimento biológico.

Sabendo-se que a luz do sol sobre o substrato encurta o tempo de molhagem e, por conseguinte, constitui um meio eficaz para evitar o crescimento de algas e musgos é frequentemente considerado que um tratamento repelente à água pode ter o mesmo efeito benéfico, verificando-se que os musgos necessitam de mais água do que as algas. Infelizmente, a experiência mostra que as algas e musgos que cresceram no substrato antes do tratamento, reaparecerem após vários anos, se nada foi feito no sentido de evitar que o substrato fique demasiado húmido. Isto acontece pelo facto de que o efeito do tratamento diminui com o tempo, devido ao desgaste natural. Provavelmente, este desgaste deve-se sobretudo à luz ultravioleta e provavelmente a alguma influência da água da chuva. Contudo, é mais fácil retirar algas e musgos num substrato tratado do que a partir de um substrato não tratado. Se após o tratamento à prova de água do substrato este se mantiver suficientemente seco, poderão estar reunidas as condições para se evitar o crescimento biológico, sendo para isso também importante remover do substrato toda a colonização biológica antes de se realizar um tratamento repelente à água.

As principais fontes de poluentes atmosféricos são: escape dos veículos motorizados, instalações industriais, centrais termoelétricas, reação dos gases poluentes na atmosfera, fábricas, combustões e outros. Estes poluentes tendem a depositar-se nas superfícies das fachadas, por circulação da água, podendo ser também absorvidos pelos revestimentos.

A classificação dos poluentes atmosféricos é efetuada de acordo com o diâmetro das partículas: moléculas gasosas (por exemplo, SO<sub>2</sub>) até 0.001 µm, fuligem e fumo (inferiores a 1µm) e partículas grosseiras, areia e sujidades (superiores a 1µm).

Os poluentes atmosféricos na presença de humidade, contribuem para a formação de compostos que atacam os materiais de revestimento das fachadas. A degradação das fachadas, nomeadamente o aparecimento de manchas prematuras nos revestimentos é fortemente influenciada pela ação da água, sobretudo quando este agente químico e físico se combina com o vento.

O humedecimento contínuo ou alternado (ciclos de molhagem e secagem) possibilita o desencadear de vários mecanismos destrutivos associados a fenômenos físicos e químicos, originando alterações volumétricas, degradação do aspeto, fissurações, perda de aderência, desenvolvimento de agentes biológicos, corrosão e lixiviação [7, 18, 19].

#### 2.8.6 AS PROPRIEDADES DE DISSOLUÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA

Antigamente, a água da chuva era facilmente conotada como uma água limpa. Hoje em dia, a qualidade da água da chuva é cada vez mais questionada, sendo frequente esta água conter concentrações muito significativas de dióxido de carbono. Entre outros gases, a água ácida contém óxidos de enxofre dissolvidos, dando origem à formação de ácido sulfúrico.

O valor normal de pH da água da chuva é 5.6., mas em certas zonas é possível encontrar valores de pH da chuva ácida, abaixo de 3. No sentido de proteger os materiais sujeitos à ação da água da chuva e sobretudo do efeito agressivo da chuva ácida, têm sido desenvolvidos várias investigações e testes no sentido de se encontrar soluções de proteção eficazes. Os tratamentos hidrorrepelentes são frequentemente apontados como uma proteção contra as dissoluções agressivas provocadas pela chuva ácida. Estes tratamentos são também recomendados para alvenarias recentes construídas próximas do mar [18].

#### 2.8.7 EFLORESCÊNCIAS E MANCHAS

Alguns componentes dos materiais porosos são mais ou menos solúveis em água. Na secagem da água retida nos poros, mais ou menos saturada com esses componentes, verifica-se que estes vêm à superfície por ação capilar. Após a evaporação os constituintes permanecem na superfície do substrato e tornam-se mais ou menos visíveis. Se os componentes solúveis são sais que se tornam visíveis, chama-se a esta manifestação, eflorescência.

As manchas de humidade numa fachada podem ter origem na aplicação inadequada de um repelente de água. Quando a água se evapora sob a superfície, os constituintes da água dos poros ficam depositados nestes e já não se tornam visíveis, sendo neste caso estas anomalias designadas por criptoflorescências. Este fenómeno é frequentemente considerado como um efeito benéfico, visto que uma zona tratada com repelente de água impede efetivamente que esta chegue à superfície, razão pela qual, o hidrorrepelente pode ser encarado como uma medida eficaz para lidar com manchas e eflorescências. No entanto, se o sal cristalizante é capaz de desenvolver altas pressões, podem ocorrer graves danos no substrato, uma vez que na zona impregnada, flocos grossos são empurrados para fora, dando origem à fragmentação do substrato.

A fragmentação ocorre após um tratamento repelente à água e é devida às criptoflorescências de sais que se acumularam na alvenaria antes do tratamento ter sido realizado.

Estas patologias são mais comuns em edifícios construídos muito perto do mar, cujas alvenarias executadas em tijolo de barro foram tratadas com um repelente de água para evitar a penetração da água.

É sempre aconselhável realizar alguns testes de cristalização, em amostras tomadas a partir de substrato a ser tratado [18, 19].

## **2.9 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DOS PRODUTOS HIDRORREPELENTES**

### **2.9.1 VANTAGENS**

Cada um dos vários produtos hidrorrepelentes existentes no mercado, tem características próprias, relativamente à sua composição química, e substratos em que são aplicados, mas partilham um grande número de aspetos comuns. Não são abordados os aspetos de custo comparativo entre os vários tipos de produtos porque isso exigiria um outro âmbito de abordagem.

As publicações técnico-comerciais dos fabricantes e distribuidores destes produtos detalham mais ou menos fundamentadamente as principais vantagens destes produtos. Com base nesta informação e na bibliografia da especialidade, apresentam-se e comentam-se, seguidamente, as principais vantagens e limitações de utilização dos produtos hidrorrepelentes a comparar [7, 15, 20, 21, 23, 24]:

- Reduzir a penetração da água na alvenaria - os hidrorrepelentes de água podem ter um contributo importante para evitar penetração de água nas fachadas, sobretudo as que estão diretamente expostas às fortes chuvas e também aos ventos mais fortes que acentuam os problemas de penetração de água;
- Melhorar a durabilidade dos materiais - os principais problemas que afetam a durabilidade dos materiais de fachadas têm como causa a penetração de água, nomeadamente: a cristalização de certos sais, a decomposição natural dos materiais e o ataque de materiais pela chuva ácida. O uso de repelentes para proteger os materiais das fachadas deve ser precedido de um diagnóstico que avalie a natureza e o estado de conservação dos materiais, assim como as causas da degradação, de forma a evitar quaisquer efeitos secundários adversos;
- Contribuir para a manutenção e renovação de fachadas - os produtos hidrorrepelentes têm um contributo importante na limpeza das fachadas, nomeadamente na recuperação e preservação da aparência dos materiais. Estes produtos são recomendados para reduzir a penetração da água da chuva carregada de poeira e fuligem e evitar a criação de manchas na estrutura capilar dos materiais. Esta propriedade evita sujidade e facilita muito as limpezas de manutenção usando métodos não abrasivos ou agressivos para os substratos. Facilitam o escoamento nas superfícies expostas às águas pluviais, promovem a autolimpeza e reduzem a frequência de manutenção;
- Contribuir para o isolamento térmico das alvenarias exteriores - a superfície tratada com um repelente de água reduz o teor de humidade das alvenarias exteriores e melhorar as suas propriedades de isolamento térmico. Esta melhoria não é certamente comparável à obtida após a colocação de um isolamento térmico pelo exterior, mas do ponto de vista de manter a aparência original das paredes, o ganho não é desprezável. É importante referir que a redução da penetração de água nos paramentos deve ser conseguida sem que haja uma diminuição da possibilidade de secagem. Os tratamentos hidrorrepelentes são considerados como uma solução que respeita esta condição.

A área vermelha na imagem térmica demonstra a grave perda de calor através da parede de alvenaria húmida. A área azul na imagem demonstra como paredes de alvenaria quando secas, a eficiência térmica é melhorada, resultando em menores custos de energia (Fig. 2.17);

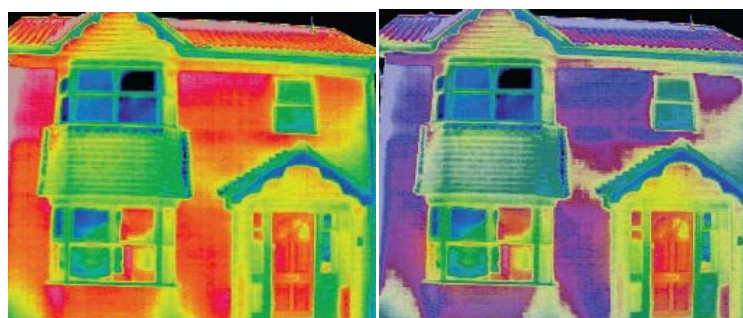


Fig. 2.17 – Ilustração de imagem térmica de paredes de alvenaria com diferentes eficiências térmicas [39].

- Durabilidade dos tratamentos hidrorrepelentes - no âmbito do tratamento de superfície os hidrorrepelentes de água são considerados particularmente resistentes a diversos constrangimentos naturais do envelhecimento. Esta durabilidade não só está relacionada com a sua estabilidade química, mas também com a penetração do produto nos poros da superfície dos substratos.

Para além de outras fontes, esta excelente durabilidade tem sido confirmada pelo CSTC, em testes efetuados em paredes e durante os testes artificiais de envelhecimento realizados nos laboratórios sobre a grande maioria dos produtos comercializados.

Na maioria dos casos a durabilidade do tratamento aplicado de acordo com as regras da arte deverá ultrapassar os 10, ou até mesmo 15 anos [7, 17, 23]. Se as condições de exposição forem muito adversas, ou os tratamentos tenham como objetivo reduzir os danos causados por infiltração de água, deverá ser efetuado um controlo regular da absorção de água com o tubo de Karsten, todos os 5 anos.

Para o controle do tratamento, é importante referir que o exame visual do efeito repelente “beading” é certamente interessante, mas não dá nenhuma informação quanto à validade, a durabilidade e eficácia residual de um repelente. Este fenómeno de superfície está ligado aos materiais tensioativos em que a água não consegue penetrar nos poros do material. Este efeito espetacular desaparece rapidamente sem perda de eficácia;

- Não existe nenhuma contra indicação, quando após um controlo se verifica uma perda significativa da eficácia, é possível efetuar um novo tratamento hidrofugante sem qualquer problema;
- Proteção contra o desenvolvimento biológico nas alvenarias tratadas com produtos hidrorrepelentes - São frequentes os desenvolvimentos biológicos em fachadas, quer sejam, bactérias, líquenes, algas, musgos ou plantas superiores, estes agentes biológicos encontram nas fachadas os elementos necessários para o seu metabolismo (suporte, ar, água e luz).

A aplicação de um tratamento hidrorrepelente, ao reduzir a penetração da água permite na maioria dos casos limitar o desenvolvimento biológico e o seu impacto direto na aparência das fachadas.

Reconhecendo a procura e o mercado potencial existente, alguns fabricantes adicionam às suas soluções de produtos hidrófugos, aditivos biocidas promovendo a versatilidade destes produtos face aos vários desenvolvimentos biológicos.



## 2.9.2 LIMITAÇÕES

- Um tratamento hidrorrepelente ainda que perfeitamente eficaz, não pode constituir uma garantia contra a penetração de humidade em paredes estruturais expostas às ações climáticas, materiais com uma estrutura muito aberta e superfícies fissuradas.
- Tratamento das superfícies horizontais - o tratamento hidrorrepelente é preferencialmente aplicado em superfícies verticais ou muito inclinadas, de forma a evitar o contacto prolongado com a água. No entanto, é grande a tentação de alargar a sua aplicação em superfícies horizontais ou ligeiramente inclinadas, especialmente suscetíveis à penetração de água e sujidade;
- O uso de produtos hidrorrepelentes para combater os desenvolvimentos biológicos nas fachadas, não oferece resultados com sucesso garantido, nomeadamente em casos de exposição muito graves, tais como áreas arborizadas, em que estas áreas tratadas se tornam locais de desenvolvimentos biológicos preferenciais devido à presença de produtos compostos facilmente biodegradáveis e nutrientes.

## 2.10 EFEITOS SECUNDÁRIOS DOS TRATAMENTOS HIDRORREPELENTES DE FACHADAS

Os tratamentos de superfícies com produtos hidrorrepelentes são apresentados com pouco efeitos colaterais indesejáveis. No entanto, e com base numa de monitorização ao longo de várias décadas, alguns problemas têm sido observados, sobretudo no que respeita ao aspeto da superfície e à sensibilidade às ações gelo / degelo dos materiais.

Estes efeitos secundários podem eventualmente aparecer devido à falta de diagnóstico prévio, à escolha de produtos não conformes (soluções anormalmente concentradas, produtos formadores de película), com maus parâmetros de aplicação (baixas temperaturas, suporte muito molhado, produto em excesso) ou, ainda no caso de suportes pouco porosos. Foram identificados os seguintes os seguintes efeitos [7]:

- Influência sobre o aspeto dos materiais - os hidrorrepelentes mais comuns do tipo siloxano, normalmente em concentrações de 5 a 12%, não causam problemas relacionados com o aspeto dos materiais de construção porosos.

Os poucos casos encontrados aplicações referem-se a substratos muito porosos ou ao aspeto anterior ao tratamento. Nestes casos, a impermeabilização pode causar um efeito de escurecimento e / ou destacamento da cor do material. É apenas um efeito visual, relacionado com as moléculas do produto hidrófugo que não conseguiram penetrar nos poros da superfície dos substratos. A experiência recente tem mostrado também que tratamentos realizados usando alguns produtos de consistência “cremosa” promovem as mudanças na aparência da superfície dos materiais.

- Influência dos tratamentos hidrorrepelentes sobre a difusão de vapor de água e o tempo de secagem dos materiais - a difusão de vapor de água é uma propriedade muito importante dos materiais de construção utilizados em fachadas. Esta propriedade tem influência no transporte e eliminação do vapor produzido no interior de edifícios, assim como na secagem dos materiais humedecidos pela chuva. Os testes realizados em laboratório (mais de 200 produtos) [7], sobre um suporte em terracota, confirmaram que os atuais repelentes de água têm a vantagem de não alterar significativamente esta propriedade.

Para as soluções repelentes de água com base em silanos ou siloxanos a diminuição à difusão de vapor de água é inferior a 10%. Por exemplo, produtos à base de siloxanos com produtos

adicionados para melhorar o tratamento dos suportes com fissuras, verifica-se que a influência nesta propriedade é ligeiramente superior (10 a 40%). Para os produtos fabricados com as resinas de acrílico siloxanos a diminuição à difusão de vapor de água é superior a 40%. No entanto, estes valores são considerados fracos em termos de influência na diminuição à difusão do vapor quando comparados com outros tratamentos ou produtos formadores de filmes na superfície dos substratos;

- Tempo de secagem - Se por um lado a influência do tratamento de hidrofugação sobre a difusão do vapor da água é muito baixa ou negligenciável, por outro lado, verifica-se que têm uma grande influência na velocidade de secagem. Um substrato com uma hidrofugação profunda pode limitar a saída da água para a superfície e resultar na redução do potencial de evaporação até 90%;
- Esta redução da velocidade de evaporação pode causar efeitos secundários adversos no caso de paredes com muita humidade (humidade ascensional, penetrações através de fissuras) e em materiais sensíveis à ação do gelo / degelo.

## **2.11 TIPOS DE TRATAMENTOS HIDRÓFUGOS EM FACHADAS**

### **2.11.1 INTRODUÇÃO**

No mercado existe uma grande variedade de produtos hidrorrepelentes para minimizar a absorção e a penetração de água nas fachadas. São regra geral produtos incolores ou transparentes, embora atualmente existam produtos hidrorrepelentes comercializados em diferentes cores com as mesmas propriedades e características que o produto análogo incolor. Estes produtos, para além do efeito protetor das fachadas, muitos deles são publicitados pelos fabricantes para aplicações em vários tipos de substratos, tais como alvenarias, de pedra, de betão de tijolo cerâmico, etc., sem alteração do aspeto original do revestimento das fachadas. Um produto hidrorrepelente formulado para vários tipos de substratos pode ser prejudicial para determinado tipo de alvenaria de tijolo cerâmico de face à vista. A aplicação de um hidrorrepelente não substitui a reparação das patologias de infiltração nas fachadas, sendo importante que a seleção do produto hidrorrepelente seja adequada e que tenha em conta as propriedades físicas e químicas do substrato.

Os protetores hidrorrepelentes de alvenarias de tijolo cerâmico à vista ou revestidas com plaquetas cerâmicas, em função dos diferentes desempenhos e propriedades podem ser classificados em dois tipos:

- Hidrorrepelentes com capacidade de formação de película
- Hidrorrepelentes com capacidade penetrante.

Há quem considere que os hidrorrepelentes com capacidade de formação de película não são verdadeiramente produtos hidrófugos de superfície pelo facto de não serem incolores, contribuírem para a alteração de coloração dos suportes, e reduzirem bastante a permeabilidade ao vapor de água dos materiais sobre que são aplicados por formarem uma película que colmata os poros.

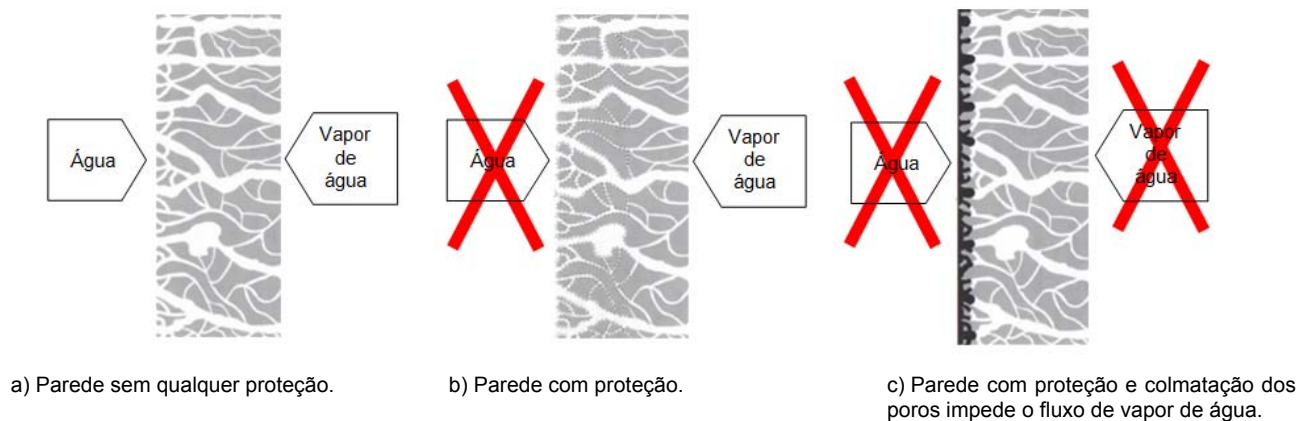


Fig. 2.18 – Paredes com e sem proteção de produtos hidrófugos de superfície (adaptado de [7]).

Os protetores com capacidade de formação de película produzem uma película contínua sobre a superfície da alvenaria, enquanto que os penetrantes entram na superfície dos substratos.

Os hidrorrepelentes estão disponíveis em duas formulações: solúveis em água ou em solventes. Normalmente, as soluções diluídas em solventes permitem uma melhor penetração e um melhor desempenho. No entanto, devido a imposições regulamentares sobre a qualidade do ar, os fabricantes estão a aumentar o uso de soluções diluídas em água com baixos conteúdos em compostos orgânicos voláteis (VOC).

O desempenho destes produtos é influenciado pelas várias condições de aplicação dos mesmos, nomeadamente, pelo tipo de veículo dos hidrorrepelentes, a temperatura, o teor de humidade do substrato, a regulamentação ambiental, os materiais adjacentes e a vegetação existente na proximidade.

Os dados e os testes dos diversos produtos devem ser examinados e comparados com os respetivos desempenhos.

Atualmente, os hidrorrepelentes mais utilizados na construção civil para a redução da penetração de água pelas superfícies exteriores das alvenarias são à base de silicone, tem a particularidade de conseguirem recobrir a superfície dos poros do substrato sem formar película, permitindo uma baixa tensão superficial (inferior a 24 mN/m).

Quer a bibliografia da especialidade, quer as publicações técnico-comerciais dos diversos fabricantes de produtos hidrorrepelentes, sobretudo estrangeiros, disponibilizam informação sobre a composição química genérica dos seus produtos. Comercialmente, os principais hidrófugos de superfície à base de silicone usados são: silanos, siloxanos, siliconatos e mistura de silanos/siloxanos. Sob a designação geral de silicones são englobados os silanos [7, 15, 20, 21].

#### 2.11.2 HIDRORREPELENTES COM CAPACIDADE DE FORMAÇÃO DE PELÍCULA

Os hidrorrepelentes que formam uma película quando aplicados sobre alvenarias de tijolo são os acrílicos, os estearatos, as ceras de goma mineral, os uretanos e as resinas de silicone. Estes produtos caracterizam-se principalmente pelas grandes dimensões das moléculas que evitam a sua penetração nos substratos e pela aderência de uma película sobre a superfície dos substratos em alvenaria de tijolo. A aderência de um hidrorrepelente criador de película é influenciada pela preparação dessa superfície, assim como o material da película, a continuidade e a concentração do produto determinam as características do seu desempenho.

A eficácia destes produtos é avaliada pela capacidade que têm de evitar que a água penetre na alvenaria, podendo estes recobrir as pequenas fissuras capilares que são correntemente origem da penetração da água. Por outro lado, este tipo de tratamentos efetuados na face exterior das alvenarias impede a evaporação da água que esteja no interior da alvenaria, verificando-se uma redução da permeabilidade do vapor de água, ou ausência de respiração, através da alvenaria de tijolo, razões porque não são geralmente recomendados para alvenarias em tais condições. Este assunto tem sido motivo de grande preocupação por parte de vários investigadores, nomeadamente em alvenarias exteriores de tijolo sujeitas a ciclos de congelamento e descongelamento.

Após a aplicação, os hidrorrepelentes formadores de película, pela sua natureza, tendem a criar um brilho ou uma luminosidade, verificando-se que em certos casos, sobretudo quando usados em altas concentrações, eles podem escurecer a aparência de uma parede, ficando esta com um aspeto húmido. A formação de uma película sobre uma parede de alvenaria facilita a sua limpeza ao evitar que os contaminantes da superfície penetrem na alvenaria. Este tipo de tratamento de superfície pode por exemplo ser utilizado como uma proteção resistente aos graffiti [7, 15, 20, 21].

**Acrílicos** - Os acrílicos são sobretudo usados quando se pretende um brilho elevado. Embora sejam eficientes como hidrorrepelentes, são vulneráveis à fissuração resultante das variações térmicas. Estes produtos estão disponíveis sob duas formas, solúveis em água ou em solventes. Devido à crescente exigência regulamentar, as soluções acrílicas solúveis em solventes são preteridas a favor das emulsões acrílicas solúveis em água.

É recomendado que a aplicação dos acrílicos seja realizada sobre substratos completamente secos, verificando-se que a aplicação sobre um substrato húmido, a película acrílica pode separar-se da alvenaria, produzindo uma aparência enevoada ou esbranquiçada. Os acrílicos podem durar até entre cinco a sete anos se forem estáveis contra a degradação pelos raios ultravioleta (UV) da luz.

**Estearatos** - Os estearatos são normalmente conhecidos como sabões metálicos. Nas alvenarias são usados geralmente estearatos de alumínio ou de cálcio. Estes produtos ao reagirem com os sais livres dos materiais de construção formam uma superfície hidrorrepelente e tampam os poros. São normalmente usados com hidrorrepelentes integrais em alvenarias de betão e em argamassas. São hidrorrepelentes que criam película, sendo recomendado a sua reaplicação todos os anos. A aplicação pode ficar com um aspeto enevoado se ficar retida humidade atrás do protetor.

**Ceras minerais** - As ceras minerais tais como a cera de parafina e a cera de polietileno são produtos considerados bons hidrorrepelentes, solúveis em solventes e podem ser capazes de recobrir fissuras capilares, mas a profundidade de penetração é extremamente reduzida. As ceras têm aplicação restrita devido ao facto de originarem frequentemente alterações do aspeto visual das superfícies tratadas, sendo conhecidas por escurecerem o substrato e, em casos em que a humidade penetre por detrás do protetor, transformam a superfície num branco leitoso. A aplicação de uma cera mineral sobre alvenaria de tijolo, na qual se verifique a penetração de água por fissuração, não evitará a humidade na alvenaria até que as origens da humidade sejam corrigidas, podendo conduzir ao enevoamento e eventual descamação da alvenaria.

**Uretanos** - Os uretanos, quimicamente são poliuretanos, cuja cura pode ser efetuada por humidificação no substrato ou ao ar, ou ainda através de um catalisador químico. São considerados excelentes hidrorrepelentes e proporcionarem bom brilho. Estes produtos costumam durar de um a três anos quando são usados aditivos químicos para se evitar que amarelem e para melhorar a duração do

seu brilho. São desaconselhados para aplicações exteriores porque frequentemente têm um mau comportamento na presença da radiação UV.

**Resinas de silicone** - As resinas de silicones formam uma película em presença da humidade. As primeiras resinas de silicones ficaram conhecidas por reduzirem a durabilidade e por alterarem a aparência da alvenaria, verificando-se que os produtos fabricados atualmente já não alteram de cor. Como os silicones não se ligam quimicamente com o substrato, estes tratamentos têm uma curta duração, exigindo frequentemente reaplicações anuais.

### 2.11.3 HIDORREPELENTES COM CAPACIDADE PENETRANTE

Regra geral os hidrorrepelentes com capacidade penetrante conseguem uma profundidade de penetração nas alvenarias de tijolo cerâmico à vista na ordem dos 10 mm, podendo mesmo atingir o dobro desse valor, de acordo com a informação publicitada por alguns fabricantes.

São produtos caracterizados por alterarem a força capilar, ou ângulo de contacto, dos poros na face da alvenaria de positiva (sucção) para negativa (repelência). Têm uma maior resistência à degradação pelos raios UV em consequência da respetiva composição química e da capacidade de penetração abaixo da superfície da alvenaria. Os hidrorrepelentes revestem os interiores dos poros sem os colmatar o que permite que estes tenham melhores características de transmissão do vapor de água.

Os hidrorrepelentes com capacidade penetrante podem ser classificados em cinco grupos: silanos, siloxanos, silicatos, metil siliconatos e suas combinações [7, 15, 20, 21].

**Silanos** - Os silanos usados como hidrorrepelentes transparentes são também designados como alquiltrialcoxisilanos. São o produto mais simples dos derivados de silicone, constituídos por moléculas de muito pequenas dimensões e possuem uma baixa viscosidade. A sua pequena estrutura molecular permite que o produto possa penetrar em materiais com poros extremamente finos. Geralmente, utilizam solventes alcoólicos miscíveis em água o que favorece a sua aplicação sobre substratos ligeiramente húmidos, o que constitui a principal vantagem deste produto.

Os principais inconvenientes dos silanos reside na forma como polimerizam. A volatilidade dos silanos e a necessidade de condições de polimerização ideais, conduz a perdas de 60 a 80% dos seus componentes ativos, o que obriga a que eles sejam usados em concentrações relativamente elevadas (tipicamente conteúdo em sólidos de 20% ou superior) para garantir uma qualidade final do produto suficiente. Os silanos ligam-se quimicamente com materiais contendo sílica ou alumina, tornando as superfícies destes materiais repelentes à água. Um substrato alcalino como o betão atua como catalisador ao apressar a reação de formação da superfície hidrorrepelente. Para melhorar a reação entre os silanos e os substratos menos alcalinos tais como o tijolo são também usados catalisadores químicos.

**Siloxanos** - Os hidrorrepelentes transparentes conhecidos como siloxanos são na realidade oligómeros alquilalcoxisiloxanos. Relativamente à sua composição e às respetivas características, os siloxanos situam-se entre os silanos e os silicones poliméricos.

Os siloxanos também permitem uma boa penetração e hidrorrepelência apesar de terem uma estrutura molecular maior que os silanos. As moléculas dos siloxanos reagem da mesma forma que os silanos, dando origem à formação de resinas silicónicas, mas apresentam perdas mais baixas dos componentes ativos, uma maior reatividade e um menor tempo para a formação da superfície hidrófóbica. Este tipo

de produtos tem uma polimerização menos sensível à natureza dos suportes do que os silanos, tendo geralmente um custo superior. Tal como os silanos, os siloxanos ligam-se quimicamente com os materiais contendo sílica ou alumina de materiais tais como o tijolo e podem ser aplicados sobre uma superfície húmida. Os silanos são difíceis de remover e têm um tempo de vida expectável superior a dez anos.

Os siloxanos são menos voláteis que os silanos e reagem com substâncias quimicamente neutras sem um catalisador químico. São usados em concentrações menos elevadas do que os silanos, sendo tipicamente usados em soluções com um conteúdo em sólidos entre 5% a 7% em peso.

Os siloxanos são conhecidos por terem um bom desempenho em alvenarias de tijolo à vista. Durante as aplicações dos siloxanos deve-se proteger corretamente os vidros existentes nas fachadas para evitar que se liguem a estes dado que os siloxanos são altamente reativos com a sílica.

**Silicatos** - Os silicatos de etilo são vulgarmente usados como consolidantes para estabilizarem o substrato ao qual são aplicados, normalmente a pedra, sendo pouco habitual o seu uso sobre a alvenaria de tijolo. Estes produtos são geralmente usados no restauro de alvenarias degradadas. Os silicatos de sódio e de potássio são por vezes usados na indústria do betão como aceleradores e condicionadores de cura. São pouco eficientes como hidrorrepelentes e não são recomendados para este uso nas alvenarias de tijolo.

**Metil siliconatos** - Os metil siliconatos são provenientes da adição de um metal alcalino a uma solução de silano, com o objetivo de aumentar a estabilidade, solubilidade e diminuir o seu custo final. Caracterizam-se também por serem soluções alcalinas que reagem lentamente com materiais contendo sílica, devendo a sua ação hidrorrepelente à polimerização dos seus compostos em contacto com o dióxido de carbono do ar, formado nestas condições uma superfície hidrorrepelente. Os siliconatos são por vezes injetados nas alvenarias de tijolo para formarem uma barreira horizontal contra a humidade ascendente. A sua principal limitação de uso deve-se ao facto do lento tempo de reação ser bastante lento sobretudo em substratos alcalinos como os materiais cimentícios, permitindo que o produto possa ser removido pela chuva no caso de esta ocorrer pouco tempo após a sua aplicação e causando manchas se aplicados sobre substratos húmidos.

São considerados hidrorrepelentes pouco eficientes e não são recomendados para aplicação sobre superfícies exteriores de alvenaria de tijolo.

**Misturas** – As misturas podem ser constituídas por combinações dos hidrorrepelentes acima referidos. Estes hidrorrepelentes são criados para produzirem materiais com as vantagens dos seus constituintes. Uma das misturas mais frequentes, é o produto proveniente dos hidrofugantes silanos/siloxanos. Estes produtos refletem as propriedades dos materiais constituintes, verificando-se que os materiais dos substratos com uma menor quantidade e dimensões de poros, possuem uma predominância de silanos, enquanto que, em superfícies muito porosas, predominam os siloxanos. Para se obter misturas eficientes, é importante que o utilizador estude os dados e resultados de ensaios dos produtos compostos.

# 3

## METODOLOGIAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE E EFICÁCIA DOS TRATAMENTOS HIDRORREPELENTES

### 3.1 A NORMA ISO 15686

O desenvolvimento de metodologias de previsão da vida útil de materiais e componentes de edifícios deve-se principalmente aos esforços de normalização no âmbito da durabilidade dos produtos da construção de várias entidades internacionais ao longo das últimas décadas, nomeadamente: CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction; RILEM - International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures; EOTA - European Organisation for Technical Approvals e a ASTM - American Society for Testing and Materials.

A norma ISO 15686 [25], é atualmente uma grande referência nas metodologias de previsão da vida útil para materiais e componentes de construção.

São inúmeros os trabalhos realizados por vários autores no âmbito da durabilidade de produtos ou componentes da construção baseados na norma ISO 15686, assim como são várias as propostas de metodologias da previsão da vida útil baseadas ou adaptadas desta norma.

No Quadro 3.1, são apresentadas as onze partes que constituem a respetiva norma.

Quadro 3.1 - Normas da série ISO 15686 [25]

| Norma             | Título                             | Descrição  |
|-------------------|------------------------------------|--|
| ISO 15686 -1:2011 | General principles                 | Princípios gerais e procedimentos a adotar na fase de projeto, no âmbito da durabilidade das construções, incluindo uma visão geral da estimativa da vida útil.  |
| ISO 15686 -2:2001 | Service life prediction procedures | Enquadramento, princípios e metodologia para a estimativa da vida útil; nos métodos recomendados, incluem-se testes de degradação, campanhas de exposição prolongada de amostras e levantamentos de campo. |
| ISO 15686 -3:2002 | Performance audits and reviews     | Abordagem e procedimentos a adotar para a implementação do planeamento da vida útil, nas várias fases do ciclo de vida do património construído;   |

Quadro 3.1 - Normas da série ISO 15686 [25] (continuação)

| Norma              | Título   | Descrição  |
|--------------------|--|--|
| ISO/TR 15686-4     | Service life planning using IFC-based building information modeling    | Está em desenvolvimento. Irá descrever os dados necessários para realizar a estimativa de vida útil.   |
| ISO 15686 -5:2008  | Life-cycle costing   | Guia para o desenvolvimento de modelos financeiros referente aos custos do ciclo de vida (gestão e manutenção) do património construído;                                 |
| ISO 15686 -6:2004  | Procedures for considering environmental impacts                       | Indicações para a avaliação dos impactes ambientais das várias alternativas de planeamento da vida útil, relação com o LCA (Life Cycle Analysis);                        |
| ISO 15686 -7:2006  | Performance evaluation for feedback of service life data from practice | Indicações para a avaliação de desempenho e feedback relativo aos dados de vida útil recolhidos em situações de exposição real em condições de serviço;                  |
| ISO 15686 -8:2008  | Reference service life and service-life estimation                     | Indicações para a obtenção de valores da vida útil de referência (RSL) e da estimativa da vida útil (ESL) para utilizações particulares, e aplicação do método fatorial; |
| ISO 15686 -9:2008  | Guidance on assessment of service-life data                            | Guia para a obtenção e harmonização de valores de RSL, aplicável a produtores de materiais e componentes de construção;  |
| ISO 15686 -10:2010 | When to assess functional performance                                  | Indicações sobre a necessidade de especificar ou verificar o cumprimento de requisitos de desempenho funcional do património construído;                                 |
| ISO 15686 -11      | Terminology  | Terminologia adotada;  |

### 3.2 CONCEITOS DE DURABILIDADE VERSUS VIDA ÚTIL

Durante o tempo de vida útil das fachadas, verifica-se que estas estão em constante exposição às ações naturais (ação física, química e biológica). As ações físicas são a ação da água (chuva e solo), do vento (pressão e abrasão), da gravidade, das variações e picos de temperatura e a radiação solar. As ações químicas afetam sobretudo os materiais da envolvente do edifício dado que estes estão sujeitos a uma série de reações, nomeadamente reações eletroquímicas, oxidações, diluições e ação dos raios ultravioleta. A degradação provocada por este tipo de ações, reflete-se sobretudo no aspeto estético dos acabamentos das superfícies, podendo os seus efeitos serem contrariados, através de lavagens ou da proteção das superfícies com produtos adequados. No que respeita às ações biológicas, a sua presença é fundamentalmente devida a dois tipos de origem: vegetais e animais. A degradação de origem vegetal tem origem na existência e desenvolvimento de raízes, trepadeiras, líquenes, bolores e fungos, enquanto que, as de origem animal são da responsabilidade de vermes, insetos, roedores e pássaros. O aparecimento de bolores e fungos têm na sua base a presença de humidade. Frequentemente, as ações de origem biológica são responsáveis por elevado número de manifestações patológicas e degradação das fachadas, que funcionam como um alerta para o estado de conservação.



Uma deficiente concepção de pormenores construtivos, uma má seleção de materiais de fachada, uma inadequada aplicação e inexistente manutenção, estão na origem das patologias mais comuns em fachadas de edifícios recentes, nomeadamente, a existência de fissuras, infiltrações, manchas, etc.

O conceito de durabilidade na construção está associado à qualidade e à capacidade de um edifício ou de uma parte do mesmo resistir no tempo. Ao assumir-se que a durabilidade é indissociável da qualidade, significa que, quanto maior for a durabilidade de um edifício ou elemento construtivo maior será a qualidade que este apresenta e vice-versa.

A estimativa do valor da vida útil depende da qualidade dos componentes, do nível de projeto, do nível de execução, do ambiente, das condições de uso e do nível de manutenção [19].

As soluções construtivas devem garantir um conjunto de exigências definidas em normas, regulamentos e especificações técnicas, tais como, a resistência aos agentes atmosféricos, a estanqueidade / impermeabilização à água, o isolamento térmico, o aspeto estético, etc.

A Diretiva Europeia dos Produtos da Construção 89/106/CE [26], exige que os produtos da construção em geral revelem aptidão ao uso a que se destinam e define seis Requisitos Essenciais: resistência mecânica e estabilidade; segurança contra risco de incêndio; higiene, saúde e ambiente; segurança na utilização; proteção contra o ruído; e economia de energia e retenção do calor.

O cumprimento de tais exigências passa pelo estabelecimento de valores limite admissíveis para vários requisitos de desempenho: deformabilidade à ação direta do vento, secagem superficial, permeabilidade ao ar e ao vapor, resistência térmica, durabilidade, entre outros. O desempenho de cada componente / sistema na fachada faz-se através de verificações / medições, nomeadamente ensaios. É importante salientar que as soluções construtivas a adotar devem resultar de uma solução de compromisso em termos de satisfação das exigências e custos envolvidos.

A EOTA - European Organization for Technical Approvals, no documento guia GD002 [27], define que a vida útil a exigir aos produtos é função da vida útil das obras onde eles sejam incorporados, a qual se encontra em regra regulamentada, por exemplo, através de regulamentos nacionais. Neste âmbito, os produtos são divididos por categorias que relacionam a vida útil economicamente razoável prevista para as construções e o tipo de manutenção (produtos classificados em “facilmente reparável ou substituível”, “reparável ou substituível” e “para toda a vida da construção”).

O documento guia GD002 [27], apresenta uma classificação para a durabilidade de produtos em função da durabilidade das construções (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 - Durabilidade dos produtos em função da durabilidade das construções [27]

| Durabilidade das construções |      | Durabilidade dos produtos da construção |  |                                |
|------------------------------|------|---|--|--------------------------------|
| Categoria                    | Anos | Categoria                               |  |                                |
|                              |      | Reparáveis ou de Fácil Substituição     | Reparáveis ou Substituíveis com mais algum esforço | Para toda a vida da construção |
| Pequena                      | 10   | 10                                      | 10   | 10                             |
| Média                        | 25   | 10                                      | 25   | 25                             |
| Normal                       | 50   | 10                                      | 25   | 50                             |
| Longa                        | 100  | 10                                      | 25   | 100                            |

A norma internacional ISO 15686-1 [25], distingue os conceitos durabilidade (durability) e vida útil (service life).

O conceito de durabilidade é descrito como: "A capacidade do edifício ou seus elementos de desempenhar as funções requeridas durante um determinado período de tempo sob a influência dos agentes atuantes em serviço". Sobre este conceito é importante acrescentar que a durabilidade não é uma propriedade intrínseca de um produto ou componente mas sim uma característica que depende das condições a que está sujeito em serviço.

O conceito vida útil é descrito como: "Período de tempo, após a construção, em que o edifício ou seus elementos igualam ou excedem os requisitos mínimos de desempenho".

Esta norma recomenda valores mínimos para a vida útil do edifício e seus componentes, tendo em conta a necessidade de manutenção e a possibilidade de serem indicados valores mais reduzidos de durabilidade (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 - Valores mínimos para a durabilidade do edifício e seus componentes [25]

| Durabilidade do edifício | Elementos estruturais ou sem acesso | Elementos cuja substituição é onerosa | Elementos facilmente substituíveis | Serviços |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Ilimitada                | Ilimitada                           | 100                                   | 40                                 | 25       |
| 150                      | 150                                 | 100                                   | 40                                 | 25       |
| 100                      | 100                                 | 100                                   | 40                                 | 25       |
| 60                       | 60                                  | 60                                    | 40                                 | 25       |
| 25                       | 25                                  | 25                                    | 25                                 | 25       |
| 15                       | 15                                  | 15                                    | 15                                 | 15       |
| 10                       | 10                                  | 10                                    | 10                                 | 10       |

Notas: 1 - A vida útil de projeto corresponde à vida útil admitida em fase de projeto para apoio à escolha das especificações; 2 - A vida ilimitada deve ser utilizada apenas em casos raros porque reduz significativamente as opções de projeto; 3 - Alguns dos elementos facilmente substituíveis, por exemplo pinturas exteriores, poderão ter vida útil inferior, de 3 a 6 anos.

O conceito durabilidade de um componente / sistema, pressupõe a quantificação da sua duração. Na avaliação da durabilidade / vida útil está implícito a identificação dos possíveis fatores de degradação e dos efeitos de degradação, através da experiência baseada em materiais correntemente utilizados e / ou através de ensaios de envelhecimento natural ou acelerado, comparando-se os resultados dos parâmetros mais relevantes com os previstos para o componente ou material novo sem degradação. Os efeitos de degradação podem ser detetados através da observação visual, de instrumentos de medição de parâmetros de ordem estética ou de propriedades físicas.

No que se refere a tratamentos de superfície de fachadas, os repelentes de água são considerados particularmente resistentes a diversos agentes naturais do envelhecimento. Esta durabilidade não só está relacionada com a sua estabilidade química, mas também com a penetração do produto nos poros da superfície dos substratos.

O CSTC refere nas NIT 224 "Hydrofugation de surface" [7], que na maioria dos casos a durabilidade dos tratamentos hidrorrepelentes aplicados de acordo com as regras de arte, devem ultrapassar a duração, 10 a 15 anos.

Várias publicações técnicas que abordam o tema durabilidade ou vida útil dos produtos hidrorrepelentes, mencionam que estes produtos têm uma vida útil de 5 a 10 anos [41], havendo contudo referência a aplicações cuja eficácia ultrapassa os 25 anos [7, 41].

Segundo Flores *et al* [19], a existência de manutenção regular e sistematizada dos diversos componentes que constituem o edifício, prolonga o período de vida útil das construções.

No que se refere às fachadas em estudo, ou mais propriamente aos tratamentos hidrorrepelentes, estas são os elementos que estão mais expostos ao maior número de fatores de degradação, e é sobre a superfície das fachadas que estes atuam em primeiro lugar. Desta forma, a vida útil de um edifício estará também dependente da manutenção do desempenho da proteção das superfícies das fachadas acima do nível mínimo exigível.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA

A eficácia dos tratamentos hidrófugos de superfícies de fachadas é entendida como o incremento de hidrorrepelência e redução de absorção de água resultantes da sua aplicação. No presente trabalho, conforme exposto no capítulo seguinte, a eficácia foi avaliada sobretudo in-situ utilizando a metodologia dos tubos de Karsten (ensaio da absorção de água sob baixa pressão). No entanto, é possível através de ensaios em ambiente laboratorial determinar o tempo de absorção de microgotas (MG).

O parâmetro do ensaio de microgotas é o tempo de absorção de microgotas, sendo este apresentado por uma razão expressa em percentagem entre o tempo de evaporação de um determinado número de microgotas colocadas sobre a superfície em ensaio e um número similar de gotas depositadas sobre uma superfície de vidro despolido. A utilização no ensaio da superfície de vidro despolido permite a comparação de resultados obtidos em diferentes momentos com condições de temperatura e humidade diferentes. Estudos realizados confirmam a ideia de que superfícies hidrofugadas correspondem a valores de ângulo de contacto e de tempo de absorção de microgotas superiores a 90° e 100%, respetivamente, o que leva a utilizar o valor de 100% para as microgotas como uma referência adequada para a avaliação da eficácia [28].

A eficácia ( $E_{Abs}$ ) na metodologia do tubo de Karsten é definida como uma razão percentual entre as diferenças da quantidade de água absorvida ao fim de um dado intervalo de tempo antes ( $Abs_{NT}$ ) e após tratamento ( $Abs_T$ ), relativamente à absorção registada no mesmo intervalo de tempo antes de tratamento ( $Abs_{NT}$ ), sendo calculada pela seguinte expressão [7, 28]:

$$E_{abs}(\%) = \frac{Abs_{NT} - Abs_T}{Abs_{NT}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3.1})$$

O CSTC [7], realizou os primeiros ensaios sobre os tratamentos hidrorrepelentes nos anos 60, através do método de medição da absorção de água a baixa pressão, utilizando o tubo de vidro graduado em forma de cachimbo, tendo como base o procedimento de ensaio definido pela RILEM. A absorção de água do material é medida antes e após o tratamento no intervalo de tempo entre os cinco e quinze minutos.

Este método de medição apresenta a vantagem de ser facilmente utilizado in-situ, sendo principalmente recomendado pelo CSTC nos seguintes casos:

- Para a medição da absorção de água de um material antes do tratamento para se avaliar a necessidade ou não de um produto hidrorrepelente;

- Para controlar a eficácia inicial de um tratamento hidrorrepelente. Nos produtos em fase solvente esta medição deve ser efetuada alguns dias após a sua aplicação, sendo expectável um valor próximo dos 100% (eficácia). Para os produtos em fase aquosa, é aconselhável aguardar algumas semanas antes de se efetuar a medição inicial da eficácia.
- Para o caso de haver necessidade de avaliar a eficácia de um tratamento em serviço de forma a poder decidir sobre a necessidade ou não de uma reaplicação do tratamento (por exemplo, no caso da perda de eficácia ser superior a 50%).

Todos os hidrorrepelentes (em fase solvente ou em fase aquosa), devem ter uma boa eficácia inicial, mesmo em casos de má aplicação ou de produtos altamente diluídos. O CSTC com base em resultados de ensaios de laboratório, refere que a medição da absorção efetuada alguns dias após a aplicação pode ser considerada como um controlo com interesse, mas não constitui um critério válido de avaliação do desempenho de um tratamento ou um produto.

Os ensaios de absorção de água com o tubo de vidro devem ser realizados sobre superfícies relativamente saudáveis e livres de fissuras, superfícies muito irregulares ou cavidades visíveis. Caso contrário, torna-se muito aleatório obter uma boa vedação da base do tubo de vidro e um ensaio válido.

O CSTC refere que o ensaio da absorção de água com o tubo de vidro pode ser complementado os seguintes ensaios:

- A absorção por capilaridade que permite medições mais precisas através da pesagem, mas que não são aplicáveis no local e não têm em conta os potenciais efeitos do vento sobre a penetração de água.
- A medição do ângulo de contacto que é um ensaio de laboratório que permite medir as tensões de superfície, mas apenas tem um interesse limitado na avaliação do desempenho de um repelente de água.

A medição do ângulo de contacto é o parâmetro que mais se aproxima à verificação in-situ do efeito pérola “beading” nas superfícies tratadas. Esta verificação permite ter uma ideia do carácter repelente da superfície tratada face à água. Este efeito deve-se ao excesso de produto aplicado que permanece na superfície dos materiais. Em condições normais de exposição, este efeito espetacular deverá desaparecer ao fim de algumas semanas após o tratamento, sem que o desempenho relacionado com o produto que penetrou nos poros do material tratado seja afetado.

O CSTC, nas notas de informação técnica, NIT 224 [7], apresenta uma classificação dos valores de eficácia de absorção de ação a baixa pressão, obtidos a partir de materiais tratados e não tratados, e após envelhecimento.

Quadro 3.4 – Classes de eficácia de absorção de água a baixa pressão, adaptado do CSTC [7]

| Classe | Eficácia calculada           |
|--------|------------------------------|
| A      | $E_{Abs} \geq 95 \%$         |
| B      | $85 \% \leq E_{Abs} < 95 \%$ |
| C      | $75 \% \leq E_{Abs} < 85 \%$ |
| D      | $E_{Abs} < 75\%$             |

Uma outra forma possível para a obtenção de valores de referência da eficácia de absorção de água a baixa pressão é através dos produtos hidrófugos de superfície certificados. A UBAtc (Union belge pour l'Agrément Technique dans la construction), é uma entidade independente que está habilitada a certificar este tipo de produtos. Estes documentos, designados por Aprovação Técnica com certificação (ATG), apresentam um quadro resumo dos ensaios efetuados que permitem obter valores de referência da eficácia do produto hidrófugo aplicado em vários substratos (Quadro 3.5).

Quadro 3.5 - Resumo dos resultados dos ensaios de um produto hidrófugo certificado aplicado sobre a superfície de tijolo de terra cota (dados extraídos de uma ATG).

| Tipo de suporte   | Tijolo de terra cota |
|---|----------------------|
| Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )   | 1680                 |
| Quantidade de produto aplicado (g/m <sup>2</sup> )  | 605                  |
| Apreciação visual da influência sobre o aspeto após tratamento                              | Não apreciável       |
| Absorção de água ( $\Delta 5 - 15'$ ) de um material não tratado com o tubo de Karsten (ml) | 8,00                 |
| Absorção de água ( $\Delta 5 - 15'$ ) após tratamento (ml) (*)                              | 0,01                 |
| Eficácia inicial (%) (*)  | 100                  |
| Absorção de água ( $\Delta 5 - 15'$ ) após envelhecimento acelerado (ml)                    | 0,01                 |
| Eficácia após envelhecimento acelerado (%)  | 100                  |
| Diminuição da permeabilidade de vapor de água (%)   | 3.3 (**)             |

(\*) Tratamento sujeito a ciclos de envelhecimento acelerado, que de acordo com a experiência obtida, corresponde a uma exposição natural de aproximadamente 10 anos.

(\*\*) Outros relatórios de produtos análogos certificados, referem valores de ensaios entre 20 a 40 % e valor < 10 %.

De acordo com as NIT do CSTC [ ], e com os procedimentos de ensaios da UBAtc, a influência dos tratamentos sobre a permeabilidade ao vapor de água deve ser expresso sob a forma de classes de influência: inferior a 10%, de 10 a 20%, de 20 a 40% e superior a 40%.

Na Fig. 3.1, está ilustrado um documento exemplo de uma Aprovação Técnica com Certificação (ATG) de um produto hidrófugo de superfície.

Relativamente aos valores de referência da eficácia inicial de produtos hidrófugos, é expectável e referido por alguns fabricantes nas características desses produtos que um tratamento de hidrofugação de superfície realizado com um produto de qualidade e cuja aplicação foi feita com a saturação do suporte, a absorção de água através do tubo de Karsten deve ser nula para a grande maioria dos materiais, o que significa uma absorção em 10 minutos ( $\Delta 5 - 15'$ ), com um valor próximo de zero.

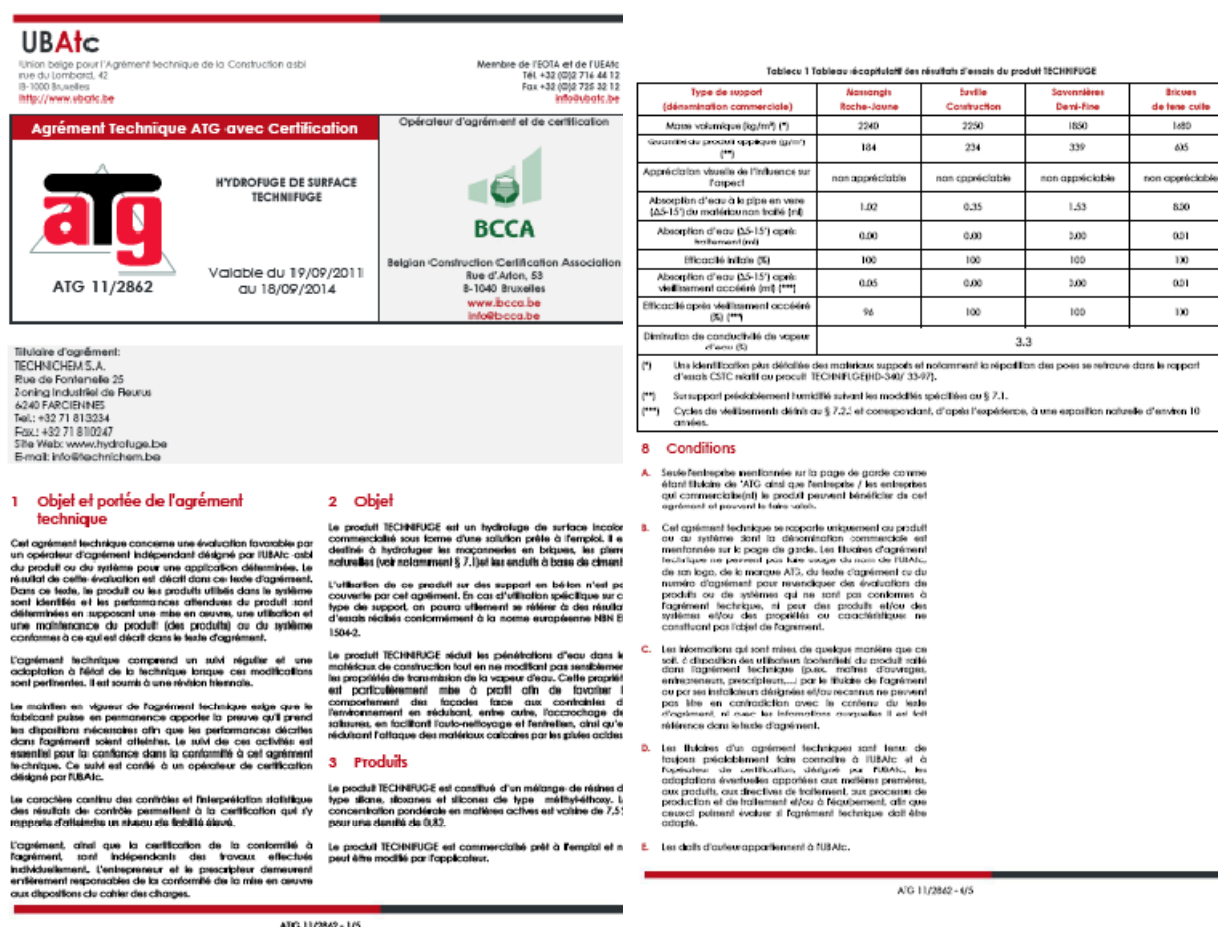


Fig. 3.1 – Exemplo de parte de uma Aprovação Técnica com certificação (ATG).

Relativamente aos valores de referência da eficácia inicial de produtos hidrófugos, é expectável e referido por alguns fabricantes nas características desses produtos que um tratamento de hidrofugação de superfície realizado com um produto de qualidade e cuja aplicação foi feita com a saturação do suporte, a absorção de água através do tubo de Karsten deve ser nula para a grande maioria dos materiais, o que significa uma absorção em 10 minutos ( $\Delta 5-15'$ ), com um valor próximo de zero.

### 3.4 A IMPORTÂNCIA DA SELEÇÃO DO MÉTODO PARA A ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL

#### 3.4.1 SELEÇÃO DO MÉTODO

O período de tempo durante o qual determinado elemento construtivo ou componente responde às exigências de serviço que lhe são colocadas, para determinadas condições de uso, corresponde à sua vida útil. A previsão desta duração é efetuada geralmente a partir do conhecimento do material e do seu estado de degradação, escolhendo-se como indicadores determinadas propriedades mensuráveis, que expressam o tipo de degradação em função da exposição ao agente de degradação, ou do desempenho ao longo do tempo.

A seleção do método a adotar para a estimativa da vida útil deve ter em atenção a natureza do produto ou componente e as condições de uso previstas. No entanto, antes de se tomar a decisão sobre qual o método a utilizar é importante definir previamente as funções e exigências do produto objeto de estudo.

Assim como, conhecer a funcionalidade do produto e definir os requisitos essenciais implica ter um bom conhecimento das condições de uso e das ações a que vai estar sujeito durante a sua vida útil.

### 3.4.2 DEFINIÇÃO DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO

As ações responsáveis pela alteração das características fundamentais do produto, são frequentemente designadas por agentes, mecanismos ou fatores de degradação.

Relativamente às solicitações a que estão sujeitos os produtos hidrorrepelentes de superfícies de fachadas, consideram-se as seguintes ações de degradação mais relevantes:

- As ações de natureza higrotérmica, tais como, as ações da temperatura, humidade, radiação solar, do vento, da neve e do gelo;
- A ação da água e dos produtos quimicamente agressivos, resultantes das operações normais de conservação e limpeza;
- As ações devidas à colonização biológica (algas, líquenes, musgos, fungos e bactérias) e não biológica (poluentes atmosféricos) que provocam a degradação do aspeto das superfícies das fachadas.

### 3.4.3 PRINCIPAIS REQUISITOS DOS PRODUTOS HIDRORREPELENTES

Nas últimas décadas, têm sido realizadas várias investigações sobre a eficácia de vários produtos, para a impermeabilização e consolidação de materiais de fachadas. Entre vários autores e outras entidades, destaca-se o BIA (Brick Institute of America) e o CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction), que através das notas técnicas publicadas têm dado um grande contributo para o aumento do conhecimento no campo da aplicação de produtos hidrófugos, nomeadamente na definição dos requisitos dessas formulações.

Com base nessa informação, considera-se que os impermeabilizantes utilizados para a proteção superficial do tijolo de face à vista são regra geral produtos incolores dissolvidos em solventes orgânicos ou em água, e que os principais requisitos a exigir a estes produtos hidrófugos são [7, 17, 24]:

- Impermeabilidade à água líquida (redução da absorção de água para valores superiores a 75% de eficácia);
- Permeabilidade ao vapor de água (redução da difusão de vapor de água para valores inferiores a 10%);
- Boa capacidade de penetração no substrato do material de impermeabilização (entre 1 a 5 mm de profundidade);
- Reduzida influência sobre o aspeto visual das superfícies dos substratos tratados (não alteração de cor do suporte);
- Resistência à radiação dos raios UV;
- Estabilidade aos agentes físicos e químicos (evitar fenómenos que originem alterações volumétricas, fissurações, etc.)
- Eficácia de longa duração (capacidade de hidrofugação da superfície tratada referida pelo fabricante de pelo menos 10 anos);
- Possibilidade de reaplicação do tratamento de hidrofugação;
- Compatibilidade com outras soluções de conservação ou proteção;
- Proteção contra a degradação biológica (da colonização biológica: algas, líquenes, musgos, fungos e bactérias);

- Proteção contra a degradação não biológica (evitar sujar as superfícies das fachadas pela ação dos poluentes atmosféricos);
- Seleção adequada do produto em função do tipo e do estado do substrato (sem sujidade, fissuras < 0,3 mm, sem eflorescências, com juntas de assentamento devidamente concebidas ou reparadas, sem humidades ascensionais, etc.);
- Facilidade de aplicação.

#### 3.4.4 MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL (DURABILIDADE)

A durabilidade é uma função da qualidade em serviço e do valor da vida útil. A estimativa do tempo de vida útil de um material ou componente é um processo complexo e têm sido propostos vários métodos ao longo dos últimos anos, nomeadamente através de modelos experimentais ou modelos teóricos (físicos / matemáticos).

Ao longo dos últimos anos, vários métodos têm sido propostos para a estimativa da vida útil dos elementos construtivos. Entre os vários métodos existentes para a previsão da vida útil referem-se os seguintes [19]:

- Métodos determinísticos, em que a vida útil de um elemento é função de uma durabilidade de referência, segundo por exemplo indicações do fabricante. Esta referência é posteriormente modificada através de fatores, de acordo com as condições de serviço espectáveis, obtendo-se um valor absoluto indicativo da durabilidade do elemento estudado;
- Métodos probabilísticos, normalmente baseados em cálculo matricial ou probabilístico, que definem a probabilidade de ocorrência de uma mudança de estado de um elemento, visando ultrapassar a incerteza relacionada com a sua forma de degradação e a própria imprevisibilidade das respetivas condições de serviço;
- Métodos de engenharia, que partem de metodologias mais simples (determinísticas) e integram um pouco de variabilidade associada à incerteza do mundo real, sem se tornarem excessivamente complexos.

Os primeiros, nos quais se inclui o método fatorial, tendem a simplificar a complexidade dos fatores de degradação, os segundos são muito complexos para usar na prática corrente, e os últimos, embora pareçam a melhor solução de compromisso, necessitam de documentação técnica que facilite a sua aplicação.

Para a estimativa da vida útil, o método fatorial utilizado da ISO 15686-1, é aquele que tem maior aceitação na comunidade científica e aplicação prática pela sua elevada operacionalidade. A previsão da vida útil de um determinado produto de construção diz respeito a um determinado conjunto de condições a que este está sujeito, que só por mera casualidade coincidirão com as condições de serviço. O método fatorial permite introduzir modificações ao valor previsto, em função das condições específicas de uma determinada construção [19, 25].

### 3.5 ESTADO LIMITE DE VIDA ÚTIL PARA TRATAMENTOS HIDRÓFUGOS DE SUPERFÍCIES

Considera-se que um elemento construtivo sujeito a um ou vários fatores de degradação atinge o limite de durabilidade quando o seu estado limite, previamente definido é ultrapassado.

Os critérios que ditam o fim da vida útil de um elemento ou componente da construção devem ser estabelecidos com base na definição de níveis mínimos de desempenho.



Por outras palavras, a evolução da degradação de um determinado elemento construtivo é o desempenho demonstrado por esse elemento ao longo da sua vida útil e a perda da capacidade para satisfazer os requisitos exigidos.

De acordo com Shohet, referido por Gaspar *et al* [29], um determinado elemento construtivo, dependendo dos fatores de degradação a que está sujeito, apresentará um dos quatro tipos de padrões de degradação (Fig. 3.2).

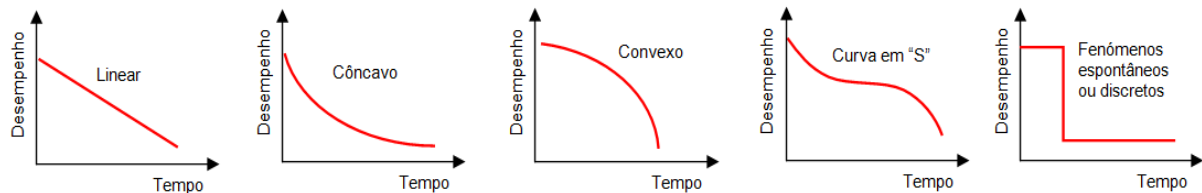


Fig. 3.2 – Curvas correspondentes aos padrões de degradação.

Os padrões de degradação podem ser caracterizados pelas seguintes curvas de degradação:

- Evolução linear: regra geral, esta evolução é devida às ações de agentes atmosféricos permanentes, tais como a incidência de raios ultravioleta e do vento; este tipo de padrão é caracterizado por uma perda constante da capacidade do material responder às exigências de serviço, ao longo do tempo;
- Curva côncava: este tipo de padrão corresponde a ações de deterioração de rápido desenvolvimento inicial, tais como a deterioração pela ação da colonização biológica ou pela escorrência de águas;
- Curva convexa: este tipo de padrão corresponde a fenómenos físicos e químicos, de ação inicialmente lenta, mas cujos efeitos se fazem sentir cumulativamente; nestes casos, quanto mais degradado está o elemento em determinado momento, mais hipóteses tem de se degradar ainda mais e a uma maior velocidade e, por outro lado, quanto mais tempo de vida tem o revestimento considerado, maior probabilidade tem de apresentar uma falha considerada crítica;
- Curva em “S”: este tipo de padrão corresponde a situações de degradação que se manifestam muito cedo, passando a um estado de aparente estabilização, mas que na prática permanecem ativas ou criam condições para a ocorrência de uma deterioração mais profunda e de rápido desenvolvimento do elemento;
- Os fenómenos discretos podem ocorrer em qualquer momento da vida útil do material, por patamares de degradação (degraus) separados por um intervalo de tempo em que estes parecem ter sido interrompidos de forma espontânea ou aleatória.

Associando-se a curva de desempenho com os requisitos de desempenho exigidos, é possível determinar a vida útil do material para as condições de exposição consideradas.

De forma simplificada, o método de previsão de vida útil pode ser representado conforme o gráfico da Fig. 3.3. Neste gráfico, verifica-se uma degradação linear para um hipotético elemento construtivo que na prática se traduz na perda da capacidade em responder às exigências ao longo do tempo. As bandas de variação correspondem aos limites, inferior e superior de degradação. A vida útil esperada é, assim, obtida por interceção da linha de degradação com a linha horizontal, correspondente ao nível mínimo de desempenho ou nível mínimo de aceitação (requisito).

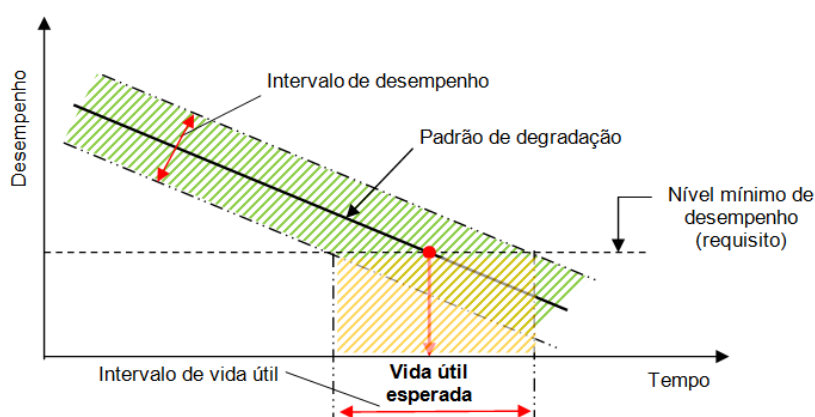


Fig. 3.3 – Determinação da vida útil esperada através da definição de um nível mínimo de aceitação (adaptado de [31, 32]).

No caso de determinado elemento ou componente construtivo estar sob a influência de vários agentes de degradação, a vida útil do elemento ou solução construtiva será a menor das vidas úteis associadas a cada fator de degradação. Referem-se como exemplo de fatores de degradação que atuam em conjunto: a temperatura, a humidade, a radiação solar, etc.

No entanto, a sua perda de desempenho ao estar associada à influência da interação de vários fatores de degradação ou às correspondentes curvas de degradação, torna o processo de avaliação da degradação mais complexo, uma vez que uma determinada ação de degradação pode afetar as outras e vice-versa, e vai contribuir para acelerar o processo de envelhecimento.

A vida útil de um edifício ou elemento construtivo pode ser condicionada pelo fraco desempenho face a determinadas exigências. Para efeitos de determinação da vida útil de uma determinada solução construtiva é possível associar a esta mais do que uma propriedade crítica de desempenho, sejam elas de segurança, funcionais ou de aspeto. Refere-se que todas as propriedades condicionam a vida útil física da solução, mas apenas uma delas determinará o fim de vida útil da solução, podendo eventualmente acontecer que na análise da relação desempenho / exigências mínimas aceitáveis, a propriedade crítica que apresenta um nível de exigência inferior relativamente a outra que tenha um nível de exigência superior, seja a propriedade determinante pelo facto de apresentar em determinadas condições de exposição um decréscimo de desempenho mais acentuado [30].

Por exemplo, as anomalias precoces sob a forma de colorações / descolorações em fachadas de edifícios recentes, são normalmente visíveis nos primeiros anos após a conclusão da obra e afetam o seu desempenho estético. O decréscimo deste desempenho pode condicionar o valor da vida útil do elemento fachada, atingindo os requisitos mínimos de estética, antes de atingir as exigências mínimas de funcionalidade ou dos níveis mínimos de segurança, conforme ilustra a Fig. 3.4 [19, 30].

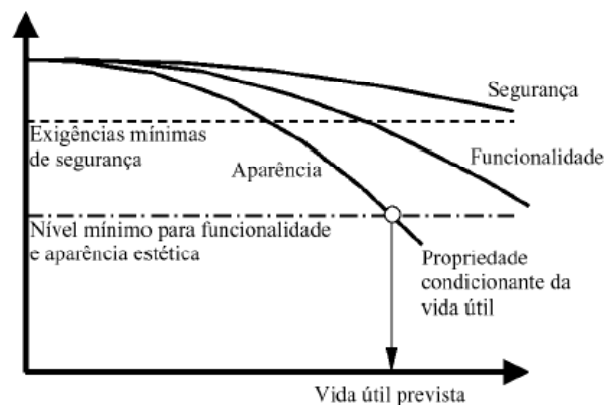


Fig. 3.4 – Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento construtivo e os mínimos aceitáveis com identificação daquela que condiciona a vida útil [19, 31].

Diversos autores, Shohet *et al.*, referido por Gaspar [29], propõem o uso de bandas de variação para cada ação de degradação, em vez de curvas simples, de forma a refletir a variabilidade estatística dos fenómenos reais a que está sujeita uma determinada solução construtiva (Fig. 3.5).

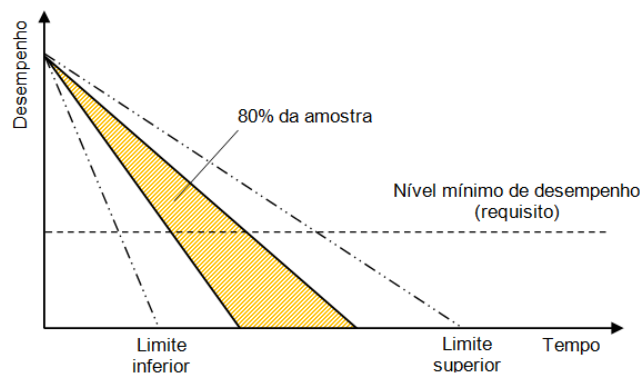


Fig. 3.5 - Bandas de variação de curvas de degradação (adaptado de [29, 30]).

O conceito de nível mínimo de desempenho é relativo, porque depende de muitos fatores, nomeadamente; da apreciação subjetiva dos decisores, da evolução das exigências regulamentares, etc. Mesmo quando é evidente a existência de anomalias num determinado sistema da construção, o processo de decisão sobre a necessidade de intervenção de reparação é normalmente complexo e, é confrontado na maior parte dos casos com questões de ordem financeira. Nestes casos, verifica-se que o nível mínimo de desempenho pode corresponder a diferentes níveis de aceitação por parte dos proprietários ou utentes. A definição de níveis de exigência pouco elevados corresponde à aceitação de níveis de desempenho mais baixos, associados a um maior tempo de vida útil.

Regra geral, o limite de durabilidade de um determinado elemento ou componente é atingido pela ação de um determinado agente de degradação ou pela ação conjugada de vários agentes que conduz à ultrapassagem de determinado limite previamente definido. A tarefa de determinar o fim da vida útil de determinado produto é difícil dado que a definição dos critérios do que é aceitável mudam ao longo do tempo, assim como a forma de definir os estados limite pode variar conforme se considerem exigências de segurança, de funcionalidade ou de estética [29, 30].

Neste trabalho, o requisito essencial avaliado é a durabilidade dos produtos hidrófugos de superfícies de fachadas com de alvenaria de tijolo cerâmico à vista ou de plaquetas cerâmicas. Através da medição do parâmetro eficácia da absorção de água a baixa pressão avalia-se a eficácia de várias aplicações de produtos hidrófugos em serviço. Para este parâmetro, designado também por critério de análise da vida útil, deverá ser considerado um valor limite de referência, denominado valor crítico, tendo como base os valores de referência da eficácia recomendada nas NIT 224 do CSTC [7], nomeadamente para a reaplicação de tratamentos hidrorrepelentes. O valor crítico fixado é 50% (eficácia).

### **3.6 A IMPORTÂNCIA DOS ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO PARA A PREVISÃO DA VIDA ÚTIL**

Qualquer que seja a metodologia escolhida para a previsão da vida útil de um sistema ou elemento construtivo, esta terá sempre uma forte componente subjetiva. Considera-se que esta subjetividade poderá ser minimizada, recorrendo sempre que possível a ensaios experimentais.

Para a previsão da vida útil podem ser realizados ensaios de curta duração, acelerados ou não, de longa duração ou naturais [25, 30].

Os ensaios de longa duração permitem aferir o realismo dos resultados dos ensaios de envelhecimento acelerado, sendo a principal desvantagem a sua morosidade.

Os ensaios de envelhecimento acelerado têm como objetivo a rápida obtenção de uma previsão, embora a sua correlação com a realidade nem sempre seja fácil.

Os ensaios de exposição natural nem sempre fornecem resultados práticos sobre o comportamento dos materiais num período de tempo suficientemente curto. Isto deve-se ao facto da ação dos efeitos dos agentes de degradação (chuva, vento, temperatura, humidade, etc.) sobre um sistema ou elemento de construção ser um processo longo e demorado.

Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado consistem em simular o mais possível as condições reais de envelhecimento, através de uma exposição acelerada de materiais em laboratório.

A norma ISO15686-2 [32], apresenta quatro formas de obtenção de dados sobre o envelhecimento a longo prazo dos elementos, componentes e materiais de construção, nomeadamente:

- Ensaios de campo: os resultados dos ensaios de campo, referem-se a um local específico de exposição dos elementos a avaliar, sendo importante o conhecimento e registo das características ambientais e do desempenho ao longo do tempo, assim como dos efeitos dessas condições, de forma a permitir que esses dados possam ser relacionados com outra localização geográfica.
- Inspeção de edifícios: a vida útil dos elementos ou componentes de construção em serviço pode ser avaliada através de inspeção de edifícios, devendo ser incluídos na amostragem estatística o maior número de edifícios possível; salienta-se no entanto a importância e a dificuldade da obtenção de informação sobre a história do edifício, assim como da caracterização com precisão das condições ambientais do edifício.
- Ensaios em edifícios experimentais; as avaliações de durabilidade dos elementos ou componentes de construção são realizadas em edifícios dedicados para o efeito; a grande vantagem deste tipo de ensaios, é o facto dos elementos ou componentes poderem ser ensaiados em condições de escala real.
- Ensaios in-situ de longa duração (condições de serviço): a avaliação da vida útil do elemento ou componente é efetuada através da exposição deste às suas condições normais de uso;

existem algumas semelhanças entre este tipo de ensaios e os ensaios em edifícios experimentais.

O presente trabalho baseia-se sobretudo, em ensaios realizados in-situ de superfícies hidrofugadas de fachadas de edifícios recentes em serviço. Entre outras medições realizadas, a avaliação da eficácia dos tratamentos hidrorrepelentes será efetuada através do ensaio do tubo de Karsten para medir a absorção de água a baixa pressão sob a influência dos diferentes agentes e mecanismos de degradação, e diferentes níveis de envelhecimento, permitindo assim determinar a eficácia destes produtos ao longo do tempo e estimar o fim da vida útil dessas soluções de proteção de superfícies de material cerâmico.

Desta forma, os critérios que ditam o fim da vida útil das proteções hidrorrepelentes das superfícies devem ser estabelecidos com base na definição de níveis mínimos de desempenho.

### **3.7 QUANTIFICAÇÃO DA VIDA ÚTIL (DURABILIDADE) UTILIZANDO O MÉTODO FATORIAL**

#### **3.7.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO FATORIAL**

Antes de proceder ao estudo experimental da durabilidade dos tratamentos hidrorrepelentes das superfícies de fachadas de edifícios recentes, que incidiu sobretudo na avaliação da eficácia destes produtos em serviço, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma abordagem teórica sobre a previsão da vida útil, utilizando o método fatorial proposto pela norma ISO 15686-1 [25]. O presente capítulo foca-se na aplicabilidade do modelo ao caso de produtos hidrorrepelentes aplicados em substratos de fachadas de alvenaria de tijolo cerâmico à vista e de plaquetas cerâmicas.

A norma ISO 15686-1 apresenta o método fatorial como uma metodologia para estimar a vida útil de um determinado material ou solução construtiva utilizada na construção sob determinadas condições.

A estimativa da vida útil para as condições particulares pretendidas obtém-se a partir da multiplicação da duração da vida útil de referência, esperada em condições padrão, por um conjunto de fatores modificadores relacionados com diversos aspetos determinantes para a durabilidade e que se encontram referidos na norma.

Os fatores de degradação a considerar no estudo da durabilidade dos produtos hidrorrepelentes, são os seguintes:

- Fator A – Qualidade do produto de construção;
- Fator B – Nível de qualidade do projeto;
- Fator C – Nível de qualidade da execução;
- Fator D – Características do ambiente interior;
- Fator E – Características do ambiente exterior;
- Fator F – Características do uso;
- Fator G – Nível de manutenção.

O método fatorial é baseado numa vida útil de referência, afetada por vários fatores determinísticos relacionados com a diferença entre condições específicas e condições de referência. Assim, a vida útil expectável (ESLC) é calculada pela seguinte expressão:

- $ESL = RSL \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G$ , com RSL = vida útil de referência e fatores de A a G.

### 3.7.1.1 Vida útil de referência

De acordo com a norma ISO 15686 -1 [25], a previsão da vida útil de um determinado produto ou componente da construção está relacionada com um determinado conjunto de condições que dificilmente coincidirão com as condições de serviço a que este está sujeito.

Preferencialmente, o valor da vida útil de referência (RSL) deverá ser obtido através de uma metodologia de previsão da vida útil como a apresentada na Fig. 3.6.

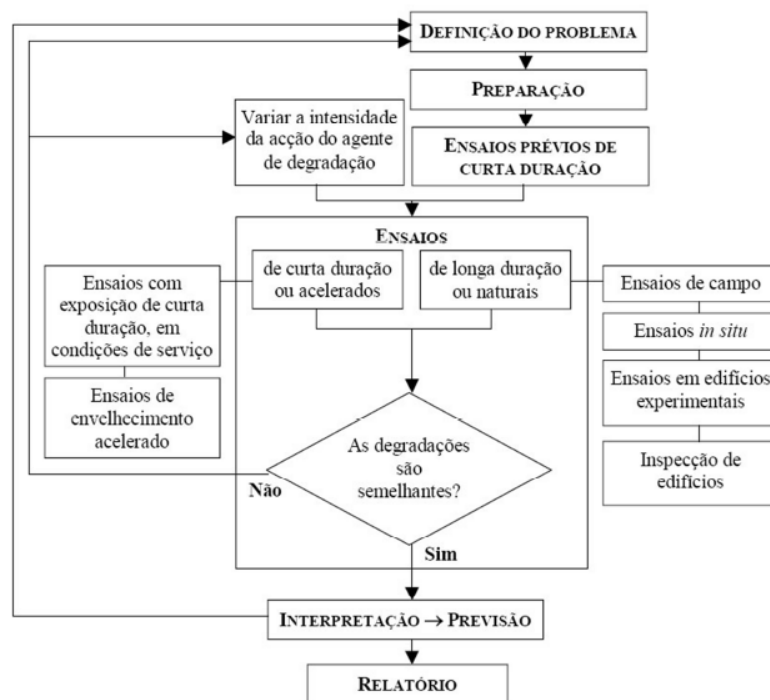


Fig. 3.6 - Metodologia para a previsão do tempo de vida útil [25]

O cálculo do valor do método fatorial terá uma maior ou menor fiabilidade dependendo do valor de vida útil de referência utilizado.

Se eventualmente não for possível determinar o valor da vida útil de referência através da metodologia descrita, poder-se-á adotar um valor de referência baseado em:

- Dados fornecidos pelo fabricante;
- Dados de resultados de ensaios efetuados por um laboratório;
- Dados baseados em experiências anteriores ou observações de construções similares ou que se encontram em condições similares;
- Dados em informação contida em Documentos de Homologação ou outra documentação equivalente;
- Dados obtidos em bibliografia relacionada com o tema da durabilidade.

Quando o estudo da durabilidade incide sobre um produto novo, normalmente, apenas se tem acesso a dados do fabricante.

No caso de se recorrer aos dados facultados pelos fabricantes ou fornecedores, deverá haver o cuidado em não quantificar duplicadamente a influência de determinada condição (p.e. ambiental) sobre a vida útil do produto em estudo, razão pela qual, é importante ter em atenção as condições relativas às

previsões efetuadas pelo fabricante e quais os métodos que foram utilizados para a determinação do valor da vida útil.

No presente trabalho, o valor da vida útil de referência das soluções de tratamento de superfícies de fachadas com tijolo cerâmico à vista ou plaquetas cerâmicas com produtos hidrorrepelentes, foi obtido a partir da pesquisa de bibliografia da especialidade [7, 17, 23, 41] e de valores de vida expectáveis apresentados pelos fabricantes em fichas técnicas de vários tipos de hidrorrepelentes. O valor foi obtido através de uma ponderação efetuada aos valores pesquisados nas fontes referidas, sendo também considerados os valores de produtos não homologados.

O valor a considerar para a vida útil de referência (RSL) deverá estar compreendido entre 5 e 10 anos, sendo adotado o valor de 7 anos (RSL) para efeitos de cálculo da vida útil estimada (ESL).

### 3.7.1.2 Fatores modificadores

De acordo com a norma ISO 15686-1 [25], a vida útil de referência é afetada por vários fatores modificadores relacionados com a diferença entre condições específicas e as condições de referência.

Para os fatores modificadores a norma prevê uma classificação em três níveis de acordo com grau de influência destes sobre a vida útil de referência. Os valores de desvio dos fatores modificadores em relação às condições de referência, aproximam-se da unidade, sendo sugeridos pela norma para cada um dos níveis os valores apresentados no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Valores de desvio em relação à condição de referência [25]

| Valor | Desvio em relação à condição de referência                               |
|-------|--|
| 0,8   | Quando o fator tem uma influência negativa sobre o elemento em estudo.   |
| 1,0   | Quando o fator não apresenta desvio em relação à condição de referência. |
| 1,2   | Quando o fator tem uma influência positiva sobre o elemento em estudo.   |

Para além dos valores propostos de majoração e minoração da condição de referência poderão ser adotados outros valores, em função da influência de cada fator na vida útil de referência.

### 3.7.2 FATORES MODIFICADORES A CONSIDERAR NA SOLUÇÃO DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES DE FACHADAS COM PRODUTOS HIDRORREPELENTES

Seguidamente procede-se a uma breve descrição de cada um dos fatores modificadores propostos pela norma ISO 15686-1 [25], assim como à apresentação dos respetivos quadros de avaliação:

- O fator A, representa o nível de qualidade dos materiais ou componentes, nas condições em que são fornecidos à obra, segundo as especificações do projetista.
- O fator B, representa o nível de qualidade do projeto, nomeadamente com a adequação da seleção de uma solução construtiva específica, das medidas de proteção previstas, etc.
- O fator C, está associado ao nível de qualidade da execução, devendo a avaliação deste fator refletir o grau de qualificação da mão de obra, e a existência ou não de uma fiscalização rigorosa.
- Os fatores D e E, dizem respeito às características dos ambientes interior e exterior, respetivamente. Para a sua quantificação deverão ser tidos em conta os agentes de degradação.

- O fator F reflete o efeito do uso na degradação do material ou componente.
- Por último, o fator G é relativo à existência ou não de uma manutenção adequada.

No quadro seguinte (Quadro 3.7) são descritos e quantificados os fatores modificadores relativos à qualidade dos produtos hidrorrepelentes.

Quadro 3.7 - Fatores modificadores associados à qualidade dos produtos (A)

| A1 – Classificação segundo o fornecimento dos produtos hidrorrepelentes                   | Valor proposto |
|---|----------------|
| Com declaração de conformidade CE e Certificado de Qualidade                              | 1,2            |
| Com declaração de conformidade CE emitida pelo fabricante ou com Certificado de Qualidade | 1,0            |
| Sem declaração de conformidade CE e sem Certificação                                      | 0,8            |
| A2 – Classificação em função da homologação e da durabilidade declarada pelo fabricante   | Valor proposto |
| Produto homologado com durabilidade declarada > 10 anos                                   | 1,2            |
| Produto homologado com durabilidade declarada entre 5 a 10 anos                           | 1,0            |
| Produto não homologado  | 0,8            |
| A3 – Classificação em função da permeabilidade à água líquida                             | Valor proposto |
| Elevada eficácia inicial ( $E_{Abs} > 95 \%$ )  | 1,2            |
| Eficácia inicial corrente ( $75 \% \leq E_{Abs} \leq 95 \%$ )                             | 1,0            |
| Baixa eficácia inicial ( $E_{Abs} < 75 \%$ )  | 0,8            |
| A4 – Classificação em função da permeabilidade ao vapor de água                           | Valor proposto |
| Redução da permeabilidade com valor desprezável   | 1,2            |
| Redução da permeabilidade <10 %   | 1,0            |
| Redução da permeabilidade >10 %   | 0,8            |

No quadro seguinte (Quadro 3.8) são descritos e quantificados os fatores modificadores relativos à qualidade do projeto dos produtos hidrorrepelentes. Embora este tipo de produtos partilhem aspetos técnicos comuns, cada um deles tem características próprias. Para além da adequada seleção estes produtos devem obedecer às recomendações especificadas nas fichas técnicas e no caderno de encargos, tais como, a preparação do suporte, o modo de aplicação, as condições climáticas condicionantes, os eventuais testes ao grau de humidade do suporte, os ensaios de eficácia do produto, etc.



Quadro 3.8 - Fatores modificadores associados à qualidade do projeto (B)

| B1 – Classificação em função do caderno de encargos / especificações técnicas   | Valor proposto |
|---|----------------|
| Solução apresentada com caderno de encargos devidamente detalhado com as especificações e recomendações de aplicação. | 1,2            |
| Solução apresentada com ficha técnica do produto.   | 1,0            |
| Solução apresentada sem qualquer especificação ou recomendação técnica.   | 0,8            |

| B2 – Classificação em função da seleção do produto hidrófugo   | Valor proposto |
|--|----------------|
| Solução corretamente selecionada com relatório de ensaios do fabricante e referências de obras com aplicações similares em termos de materiais e condições de exposição. | 1,2            |
| Solução selecionada adequada ao tipo de substrato.   | 1,0            |
| Solução inadequada ao tipo de substrato.   | 0,8            |

| B3 – Classificação em função da preparação e estado do suporte  | Valor proposto |
|---|----------------|
| Suporte novo de material poroso ou suporte devidamente reabilitado, seco no momento da aplicação, estável, isento de manchas de sujidade, sem fissuras, com juntas bem concebidas/executadas ou tratadas e pouco absorventes. | 1,2            |
| Suporte de material poroso, seco no momento da aplicação, estável, limpo de manchas de sujidade, com fissuras de espessura menor a 0,3 mm e com juntas absorventes.   | 1,0            |
| Suporte de material pouco poroso, com alguma humidade no momento da aplicação, estável, com algumas manchas de sujidade, com algumas fissuras de espessura maior a 0,3 mm e com juntas de argamassa muito absorventes.        | 0,8            |

No quadro seguinte (Quadro 3.9) são descritos e quantificados os fatores modificadores relativos à qualidade de execução dos tratamentos com produtos hidrófugos.

Quadro 3.9 - Fatores modificadores associados à qualidade de execução (C)

| C1 – Classificação em função da qualificação da mão de obra e nível de experiência | Valor proposto |
|--|----------------|
| Mão de obra qualificada e com experiência.   | 1,2            |
| Mão de obra qualificada e com pouca experiência.                                   | 1,0            |
| Mão de obra não qualificada e inexperiente.  | 0,8            |

| C2 – Classificação em função da existência de fiscalização na obra | Valor proposto |
|--|----------------|
| Existência regular de fiscalização independente                    | 1,2            |
| Existência regular de fiscalização                                 | 1,0            |
| Fiscalização inexistente   | 0,8            |

| C3 – Classificação em função das condições atmosféricas   | Valor proposto |
|---|----------------|
| Aplicação efetuada em condições atmosféricas favoráveis (bom tempo e temperaturas amenas).  | 1,2            |
| Aplicação efetuada em condições atmosféricas normais (temperaturas compreendidas entre 5 e 30 °C, protegida de ventos fortes e da precipitação direta).                     | 1,0            |
| Aplicação efetuada em condições atmosféricas desfavoráveis (temperaturas inferiores a 5 °C ou superiores a 30 °C, não protegida de ventos fortes e da precipitação direta). | 0,8            |

| C4 – Classificação em função da qualidade de aplicação dos produtos hidrófugos         | Valor proposto |
|--|----------------|
| Cumprimento integral das especificações técnicas e recomendações do fabricante.        | 1,2            |
| Cumprimento da generalidade das especificações técnicas e recomendações do fabricante. | 1,0            |
| Cumprimento parcial das especificações técnicas e recomendações do fabricante.         | 0,8            |

O fator modificador associado ao ambiente exterior, normalmente designado por “Fator D”, não é aplicável, porque a avaliação deste fator é apenas relevante para o caso dos produtos da construção que após a sua colocação estejam em contacto constante com o interior dos edifícios. Neste caso, o fator modificador tomará o valor de 1,0.

No quadro seguinte (Quadro 3.10) são descritos e quantificados os fatores modificadores associados às características do ambiente exterior dos tratamentos com produtos hidrófugos.

Quadro 3.10 - Fatores modificadores associados às características do ambiente exterior (E)

| E1 – Classificação em função das condições climáticas <sup>1</sup> | Valor proposto |
|--|----------------|
| Zona climática pouco agressiva                                     | 1,2            |
| Zona climática moderadamente agressiva                             | 1,0            |
| Zona climática muito agressiva                                     | 0,8            |

Nota 1: As condições climáticas caracterizam uma maior ou menor agressividade do meio ambiente (altura do edifício, orientação, topografia do local, presença vizinha de edifícios e árvores, direção predominante dos ventos e níveis de pluviosidade [19].

| E2 – Classificação em função da poluição atmosférica <sup>2</sup> | Valor proposto |
|---|----------------|
| Zona pouco exposta aos agentes poluentes atmosféricos.            | 1,2            |
| Zona moderadamente exposta aos agentes poluentes atmosféricos.    | 1,0            |
| Zona muito exposta aos agentes poluentes atmosféricos.            | 0,8            |

Nota 2: Agentes poluentes atmosféricos (fumo dos escapes de veículos motorizados, instalações industriais, fábricas, centrais termoelétricas, reação dos gases poluentes na atmosfera, combustões, etc.) [19].

| E3 – Classificação em função das condições para a ação de colonização biológica <sup>3</sup>   | Valor proposto |
|--|----------------|
| Condições desfavoráveis à colonização biológica.   | 1,2            |
| Condições pouco favoráveis à colonização biológica.  | 1,0            |
| Condições muito favoráveis à colonização biológica.  | 0,8            |
| Nota 3: A colonização biológica (algas, líquenes, musgos, fungos e bactérias) depende do valor do PH da superfície, da presença de humidade, da luz, da temperatura e da presença de nutrientes (materiais orgânicos, sais minerais), e se o tratamento de proteção fachada é fungicida ou algicida. |                |
| E4 – Classificação em função da proximidade marítima   | Valor proposto |
| Edifício construído a uma distância do mar > 5 km  | 1,2            |
| Edifício construído a uma distância do mar entre 1 a 5 km  | 1,0            |
| Edifício construído a uma distância do mar entre < 1 km  | 0,8            |

No quadro seguinte (Quadro 3.11) são descritos e quantificados os fatores modificadores associados ao efeito do uso.

Quadro 3.11 - Fatores modificadores associados às características de uso (F)

| F1 – Classificação em função características de uso  | Valor proposto |
|--|----------------|
| Tratamento de proteção efetuado em fachada pouco ou nada exposta ao uso público e privado. | 1,2            |
| Tratamento de proteção efetuado em fachada exposta ao uso público e privado.               | 1,0            |
| Tratamento de proteção efetuado em fachada muito exposta ao uso público e privado.         | 0,8            |

No quadro seguinte (Quadro 3.12) são descritos e quantificados os fatores modificadores associados à manutenção.

Quadro 3.12 - Fatores modificadores associados à manutenção (G)

| G1 – Classificação em função do tipo e frequência de manutenção <sup>4</sup>                              | Valor proposto |
|---|----------------|
| Manutenção preventiva regular e manutenção corretiva ou reativa com uma periodicidade prevista de 5 anos. | 1,2            |
| Manutenção corretiva ou reativa com uma periodicidade prevista de 10 anos                                 | 1,0            |
| Manutenção inexistente.   | 0,8            |

Nota 4: Operações de manutenção preventiva, corretiva ou reativa. A manutenção inclui desde eventuais limpezas de caleiras até reparações mais importantes de elementos que protegem a fachada, tais como dispositivos de drenagem, capeamentos de platibandas ou rufos, assim como, zonas fissuradas ou com infiltrações de água.

| G2 – Classificação em função da acessibilidade de manutenção  | Valor proposto |
|---|----------------|
| Edifícios facilmente inspecionados através da observação visual sem recurso a equipamentos auxiliares.  | 1,2            |
| Edifícios facilmente inspecionados através da observação visual mas que apresentam alguma dificuldade de acesso (recurso a equipamentos auxiliares)           | 1,0            |
| Edifícios facilmente inspecionados através da observação visual mas que apresentam alguma dificuldade de acesso (recurso a equipamentos auxiliares onerosos). | 0,8            |

### 3.7.3 QUANTIFICAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA PARA UM CASO DE ESTUDO FICTÍCIO

Após a identificação e quantificação dos possíveis fatores modificadores influentes na vida útil dos produtos hidrorrepelentes de superfícies para os substratos objeto de estudo deste trabalho, é possível calcular a vida útil expectável (ESL) pela seguinte expressão:

$$ESL = RSL \cdot \frac{\sum_{i=1}^4 A_i}{4} \cdot \frac{\sum_{i=1}^3 B_i}{3} \cdot \frac{\sum_{i=1}^4 C_i}{4} \cdot \frac{\sum_{i=1}^4 E_i}{4} \cdot F \cdot \frac{\sum_{i=1}^2 G_i}{2} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Conforme se pode verificar nesta expressão, cada fator modificador é calculado pela média aritmética dos subfactores, quando existe mais do que um parâmetro de influência no respetivo fator.

O cálculo da vida ESL será efetuado a um caso de estudo fictício, considerando três simulações de durabilidade e uma vida útil de referência (RSL) de 7 anos (ver § 3.7.1.1). Nos primeiros dois cenários serão assumidos os valores máximos e mínimos quantificados para os fatores modificadores, consoante se trate de um cenário otimista ou pessimista, respetivamente.

No cenário mais favorável, em que todos os fatores modificadores foram majorados com o valor máximo proposto de 1.2, a vida útil (ESL) da proteção hidrorrepelente será de 20.9 anos, enquanto no cenário menos favorável, em que os fatores modificadores foram minorados com o valor mínimo proposto de 0.8, a ESL será de 1.8 anos.

Na última simulação pretende-se determinar a vida útil estimada dos produtos objeto de estudo num cenário mais realista, ou seja, um cenário num contexto mais adverso em termos de condições climáticas e considerando que o produto escolhido satisfaz os requisitos exigenciais mais diretamente relacionados com a influência da qualidade do produto e do fator humano, nas fases de projeto e execução.

De acordo com este último cenário, a vida útil estimada para a solução de proteção hidrorrepelente de fachadas estará sobretudo dependente da influência do produto, nomeadamente, da sua qualidade, da adequada seleção, da correta aplicação e das condições adversas associadas às características do ambiente exterior. Assim, considerando os valores médios dos subfactores relativos aos fatores modificadores, A, B, C e E, respetivamente, 1.2, 1.2, 1.2 e 0.8, e considerando que os fatores modificadores G e F não afetam a vida útil de referência, ou seja, o valor proposto é igual a um, obter-se-á uma vida útil estimada de 8.53 anos (Eq. 3.3).

$$ESL = 7.0 \cdot \frac{(1.0 + 1.2 + 1.2 + 1.2)}{4} \cdot \frac{(1.0 + 1.2 + 1.2)}{3} \cdot \frac{(1.0 + 1.0 + 1.2 + 1.2)}{4} \cdot \frac{(0.8 + 1.0 + 0.8 + 0.8)}{4} \cdot F \cdot \frac{(1.0 + 1.0)}{2} = 8.53 \text{ anos} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

### 3.7.3.1 Análise e discussão dos resultados

Conforme esperado, os resultados obtidos da vida útil estimada para os dois primeiros cenários correspondem a condições de fatores de influência extremas pouco expectáveis. Foram utilizados os valores limites dos vários fatores modificadores, respetivamente, 0.8 ou 1.2, consoante o fator tenha um efeito negativo ou positivo na vida útil, permitindo estes cálculos obter um balizamento das situações consideradas. A enorme discrepância de valores da vida útil estimada entre o melhor e o pior cenário, respetivamente, 20.9 e 1.8 anos, justifica-se pelas limitações inerentes ao Método Fatorial, tendo estes valores extremos apenas um significado teórico, uma vez que só em condições muito excecionais poderão ser atingidos.

Entre os vários fatores modificadores propostos, os que mais influenciam a vida útil estimada nestes cenários, são os fatores A, C e E, relacionados com a qualidade do produto, o nível de qualidade de execução e as características do ambiente exterior, respetivamente.

Na avaliação do tempo da vida útil estimada de um produto, a previsão e fiabilidade da estimativa pode não atingir o rigor desejado, não só pelo grande número de parâmetros influenciadores (fatores de degradação) presentes nessa avaliação, mas também pelo facto de poder haver a sobreposição dos efeitos da ação de vários desses fatores e ainda pelos efeitos da intensidade e da variação desses fatores.

Diversos autores têm criticado o Método Fatorial pelo facto do mesmo não ser sensível à incerteza associada à variabilidade dos fenómenos que ocorrem nos processos de degradação. Na realidade, este método apenas indica um valor absoluto para a vida útil estimada, expresso em anos, mas não informa sobre a possível dispersão de resultados e não tem em conta as interações existentes entre os diversos fatores, nem o risco associado ao resultado obtido. Acrescenta-se ainda que durante o processo de definição e classificação dos fatores modificadores existe sempre a hipótese de contabilizar em duplicado determinada condição de influência.

Nesta última simulação pretendeu-se determinar a vida útil estimada dos produtos objeto de estudo, procurando-se criar um cenário mais realista de modo a que este dependesse fortemente da influência do produto, nomeadamente dos elevados critérios de qualidade, da adequada seleção, da correta aplicação e da adversidade associada às condições do ambiente exterior.

Deliberadamente, nos fatores modificadores F e G, foram considerados os valores correspondentes às condições normais de utilização e manutenção, o que significa que estes não terão influência na durabilidade. Por analogia esta situação seria equivalente a uma avaliação de desempenho destes produtos a longo prazo através de uma campanha experimental com paredes construídas propositadamente para o efeito para avaliar a eficácia e durabilidade sem a influência destes fatores.

O valor de 8.53 anos, da vida útil obtido para este último cenário, é um resultado considerado plausível, mas por defeito. Este valor, traduz por um lado o efeito positivo da majoração efetuada à grande maioria dos fatores modificadores que dependem fortemente da influência do produto, nomeadamente dos critérios de seleção e aplicação do produto, e da qualidade que pode ser atestada por entidades habilitadas, estando por outro lado afetado do efeito negativo da minoração efetuada aos fatores modificadores relativos às características das condições do ambiente exterior. Por último refere-se que a vida útil de referência considerada é uma ponderação de vários valores conforme já foi referido anteriormente (ver § 3.7.1.1), entre os quais estão incluídos um número significativo de valores de vidas úteis de referência de apenas cinco anos, de produtos não homologados.



# 4

## **CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

O presente capítulo descreve o trabalho experimental realizado in-situ em sete casos de estudo na zona do grande Porto, com o objetivo de avaliar a durabilidade e eficácia das soluções de proteção hidrorrepelentes das superfícies de fachadas.

Primeiramente, é efetuada uma caracterização dos vários edifícios recentes, nos quais foi aplicada uma solução de tratamento hidrorrepelente na superfície das fachadas de tijolo cerâmico de face à vista ou plaquetas cerâmicas e uma descrição da metodologia de inspeção, assim como das respetivas fichas utilizadas para o registo da informação recolhida.

A campanha experimental é caracterizada pelo uso de métodos não destrutivos, destacando-se o método de absorção de água líquida sob baixa pressão (tubo de Karsten), como meio de avaliação do desempenho destes produtos em superfícies de fachadas de edifícios com diferentes idades de construção e de aplicação do tratamento.

Descrevem-se sinteticamente as técnicas de ensaio utilizadas na campanha experimental e as superfícies sobre as quais foram realizados os ensaios, referem-se as vantagens e limitações detetadas em ensaios preliminares.

Este capítulo termina com a apresentação e discussão dos resultados das campanhas experimentais. Faz-se uma análise dos resultados obtidos e extraem-se conclusões sobre as características e o estado de conservação das superfícies das fachadas estudadas com o objetivo de avaliar a durabilidade e eficácia das soluções de proteção hidrorrepelentes dos edifícios estudados.

### **4.2 SELEÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO**

Para estudo da durabilidade e eficácia das soluções de tratamento hidrorrepelente das superfícies de fachadas de edifícios recentes, foram indicadas várias obras de referência por empresas de construção / reabilitação, distribuidores e fabricantes deste tipo de produtos.

Das duas dezenas de edifícios visitados, foram apenas selecionados sete edifícios como objeto de estudo, pelo facto dos restantes não reunirem a totalidade dos critérios de seleção seguintes:

- Edifícios com tratamento hidrorrepelente de superfície de fachadas;
- Edifícios com características idênticas de revestimento de fachadas (tijolo cerâmico de face à vista ou plaquetas cerâmicas), não vitrificado;
- Edifícios com um intervalo extenso de idades de construção;
- Edifícios com um intervalo extenso de idades de aplicação do tratamento;
- Grupo de edifícios com idades aproximadas;

- Edifícios de grande e pequena dimensão;
- Edifícios com a mesma caracterização funcional (habitação e serviços);

A exclusão neste estudo de uma grande parte dos edifícios visitados deve-se ao facto de se ter verificado que nestes edifícios indicados como referência de obra, o revestimento cerâmico das fachadas ser vitrificado, ou seja, material não poroso e não recomendado para este tipo de soluções.

Os edifícios seleccionados para objeto de estudo foram os seguintes:

- Edifício ED01, sito, na Avenida Major Botelho Moniz, Miramar - Vila Nova de Gaia;
- Edifício ED03, sito, na Rua José Oliveira, Vila Nova de Gaia;
- Edifício ED04, sito, na Rua Crasto, Foz do Douro - Porto;
- Edifício ED05, sito, na Rua Dr. Sousa Reis, Foz do Douro - Porto;
- Edifício ED06, sito, na Rua Boa Nova (Seminário), Vila Nova de Gaia;
- Edifício ED08, sito, na Rua Pero de Alenquer, Foz do Douro - Porto;
- Edifício ED09, sito, na Rua do Molhe / Rua Fontes Ramalho, Foz do Douro – Porto.

Respetivamente, no Quadro 4.1 e no Quadro 4.2, estão ilustrados os edifícios em serviço e os materiais cerâmicos com tratamento hidrorrepelente que são objeto de estudo da durabilidade e eficácia.



Quadro 4.1 – Ilustração dos edifícios em serviço com fachadas tratadas com hidrorrepelentes objeto de estudo

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>Edifício ED01 - Gaia</p>   | <p>Edifício ED01 - Gaia</p>  |
|   |   |
| <p>Edifício ED03 - Gaia</p>   | <p>Edifício ED04 – Foz do Douro</p>  |
|  |  |
| <p>Edifício ED05 – Foz do Douro</p>   | <p>Edifício ED06 - Gaia</p>  |
|  |  |
| <p>Edifício ED08 – Foz do Douro</p>   | <p>Edifício ED09 – Foz do Douro</p>  |



Quadro 4.2 – Ilustração dos materiais cerâmicos das fachadas com tratamento hidrorrepelente objeto de estudo.

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>Edifício ED01 (fotografia tirada num dia de chuva)</p>                           | <p>Edifício ED01</p>   |
|   |   |
| <p>Edifício ED03</p>  | <p>Edifício ED04</p>   |
|  |  |
| <p>Edifício ED05</p>  | <p>Edifício ED06</p>   |
|  |  |
| <p>Edifício ED08</p>  | <p>Edifício ED09</p>   |

### 4.3 DESCRIÇÃO DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS E DAS SUPERFÍCIES ENSAIADAS

A seleção dos edifícios para a realização dos ensaios teve em conta as características das fachadas, idade e o nível de degradação. É importante salientar que para efeitos da campanha experimental, o nível de degradação da fachada deve ser reduzido de forma a permitir que os ensaios de absorção de água líquida sob baixa pressão possam ser efetuados em zonas isentas de anomalias, tais como fissuras, crateras, a presença de sais, etc.

No Quadro 4.3, estão identificados e caracterizados sumariamente os locais ensaiados. Os edifícios selecionados apresentam sensivelmente o mesmo nível reduzido de degradação observável da superfície das fachadas estudadas e diferenciam-se sobretudo pelo intervalo extenso das idades de construção e da aplicação dos hidrorrepelentes, existindo no entanto fachadas de edifícios que estão em condições semelhantes para a avaliação do desempenho dos tratamentos hidrorrepelentes.

Quadro 4.3 – Principais características dos paramentos estudados

| Edifício | Orientação do paramento | Tipo de suporte  | Nível de degradação da superfície tratada (*) | Tipo de hidrorrepelente   | Idade      |                              |
|----------|-------------------------|--|---|---|------------|------------------------------|
|          |                         |  |   |   | Construção | Aplicação do hidrorrepelente |
| ED01     | Sul                     | Plaquetas cerâmicas (Forras), Dim. 240 x 70 x 20 mm, cor bege                              | Reduzido                                      | Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa. | 12         | 2                            |
| ED03     | Norte                   | Alvenaria de parede dupla com tijolo furado de face à vista, Dim. 240 x 70 x 110 cor clara | Reduzido                                      | Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa. | 11         | 11                           |
| ED04     | Sul                     | Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor amarelo torrado        | Reduzido                                      | Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa  | 18         | 5                            |
| ED05     | Este                    | Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor branco                 | Reduzido                                      | Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa  | 30         | 8                            |
| ED06     | NW                      | Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor vermelho               | Reduzido                                      | Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa  | 40         | 15                           |
| ED08     | Sul                     | Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor branco                 | Reduzido                                      | Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa  | 26         | 10                           |
| ED09     | Sul                     | Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor bege                   | Reduzido                                      | Produto à base de silicone  | 25         | 10                           |

(\*) Classificação efetuada com base na análise da inspeção visual da fachada.



Relativamente, à caracterização dos edifícios, foi efetuada uma classificação durante a observação in-situ, que foi objeto de registo nas fichas de inspeção visual que se encontram em anexo.

Para além da caracterização efetuada in-situ, as imagens via satélite permitem uma fácil perceção sobre a caracterização geral dos edifícios estudados, em termos de implantação e dos agentes influenciadores de degradação na sua proximidade.



Fig. 4.1 – Vista de satélite com indicação dos edifícios inspecionados – ED04, ED05, ED08 e ED09 (Google maps 2013)



Fig. 4.2 – Vista de satélite com indicação dos edifícios inspecionados – ED01 (Google maps 2013)

Considera-se que os edifícios estudados estão construídos em zonas urbanas com tráfego rodoviário de pouca a média intensidade.

Com exceção dos edifícios ED06 e ED09, a maioria das fachadas dos edifícios estudados estão sob a ação da influência marítima. Destaca-se a proximidade do mar dos edifícios ED01, ED04, ED05, ED08 e ED09 (Fig. 4.1, Fig. 4.2, Fig. 4.3 e Fig. 4.4).





Fig. 4.3 – Vista de satélite com indicação do edifício inspecionado – ED06 (Google maps 2013)



Fig. 4.4 – Vista de satélite com indicação do edifício inspecionado – ED09 (Google maps 2013)

Apesar de nem todas as fachadas dos edifícios inspecionados terem sido objeto de estudo experimental, faz-se uma descrição sumária do estado geral de conservação das fachadas dos edifícios com base na observação in-situ e dos principais fatores que caracterizam a envolvente dos edifícios, assim como da sua influência ou responsabilidade pelo aparecimento das manifestações patológicas no revestimento das fachadas:

- Orientação dos paramentos - verificou-se a existência de diferentes comportamentos e desempenho das fachadas em serviço, nomeadamente de aspeto, em função da orientação das mesmas e da agressividade dos agentes climáticos (ação da chuva, vento e radiação solar) a que estão sujeitas. Na generalidade, as fachadas orientadas a Norte apresentam uma maior degradação em termos de aspeto (escorrências com sujidade, alteração generalizadas da cor da superfície dos materiais, colonizações biológicas);
- A conceção e forma geral da fachada – a generalidade das fachadas dos edifícios estudados têm um contorno regular. As fachadas com mais saliências e reentrâncias, evidenciam manifestações patológicas relacionadas com as infiltrações de água e com as alterações na cor das superfícies dos materiais cerâmicos, nomeadamente eflorescências;

- Exposição das fachadas à agressividade do meio – apesar do conjunto de edifícios estar relativamente próximo de um grande centro urbano, considera-se que está implantado numa área e envolvente, relativamente afastado da forte poluição do ambiente urbano que pode alterar rapidamente o aspeto das fachadas. Considera-se que o edifício ED03 é o que está mais exposto a este fator de degradação;
- Exposição da fachada à vegetação – a maior parte das fachadas dos edifícios estudados estão fortemente expostas à vegetação, devido à presença vizinha de árvores de grande porte e folhagem que são uma fonte potencial da responsabilidade pelas manifestações patológicas relacionadas com o desenvolvimento na superfície das fachadas de organismos biológicos, nomeadamente, algas, líquenes e musgos;
- Exposição da fachada ao sombreamento de obstáculos - uma grande parte das fachadas está sujeita ao sombreamento provocado por obstáculos de edifícios vizinhos e árvores de grande porte na proximidade. Esta proximidade torna as fachadas mais suscetíveis à degradação pelo facto de terem menos exposição à radiação solar e consequentemente mais frias e húmidas durante mais tempo;
- Exposição do bordo superior da fachada à chuva - na generalidade dos edifícios inspecionados não existe qualquer cobertura em consola no bordo superior das fachadas, ou seja, a proteção do bordo superior das fachadas é executada com rufos estreitos que facilmente originam escorrências de água das chuvas e acumulam sujidades ou dão origem a caminhos preferenciais de escorrências de água.

#### **4.4 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIO A UTILIZAR NAS FACHADAS TRATADAS EM SERVIÇO**

##### **4.4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Neste subcapítulo apresentam-se as técnicas de ensaio utilizadas na campanha experimental deste trabalho que têm como objetivo complementar a inspeção visual dos paramentos ensaiados na caracterização dos respetivos estados de degradação e níveis de desempenho.

Para a análise da durabilidade e eficácia dos tratamentos hidrorrepelentes de superfícies de fachadas que se pretende neste trabalho, recorre-se à utilização e interpretação conjunta de diversas técnicas de ensaio in-situ, destacando-se a permeabilidade à água líquida sob baixa pressão com os tubos de Karsten, as medições de humidade com o humidímetro portátil e as medições de temperatura superficial dos materiais objeto de estudo, assim como da temperatura ambiente e humidade relativa do ar.

A primeira fase de uma campanha experimental é a inspeção visual in-situ que deve iniciar-se por uma observação geral de todo o edifício. A inspeção visual permite ter uma visão geral do estado de conservação do elemento construtivo a analisar e das manifestações patológicas existentes. Nesta fase é definida a área das fachadas a ser analisada e procede-se à sua caracterização com base nos parâmetros ou fatores de degradação previamente definidos que podem contribuir ou influenciar a durabilidade e a eficácia dos tratamentos hidrorrepelentes das fachadas objeto de estudo. Finalmente procede-se ao registo e classificação das anomalias detetadas visualmente.

Ao contrário dos ensaios in-situ, as inspeções visuais são normalmente associadas a análises subjetivas, dado que estão muito dependentes da experiência e formação do técnico que as realiza. Os ensaios in-situ permitem avaliar com maior precisão as necessidades de manutenção e identificar anomalias que não são visíveis através das inspeções visuais. Apesar dos ensaios in-situ permitirem uma análise mais objetiva sobre o estado de degradação sobre determinado elemento construtivo,

salienta-se a importância de se conseguir estabelecer correlações entre as várias características ou parâmetros a analisar para uma melhor interpretação dos resultados obtidos.

A fase de inspeção visual deverá sempre que possível ser complementada com a utilização de técnicas auxiliares, mesmo as mais simples, como por exemplo, a molhagem das superfícies das fachadas, utilizando um pulverizador de água para a deteção do efeito pérola “beading”, característico das zonas tratadas com hidrorrepelente de superfície. Faz-se a seguir uma descrição dos métodos de ensaio e equipamentos utilizados.

#### 4.4.2 EQUIPAMENTO DE APOIO UTILIZADO NA INSPEÇÃO DAS FACHADAS

No Quadro 4.4, descreve-se o equipamento utilizado para a análise das fachadas em serviço tratadas com hidrorrepelentes, que são de grande utilidade prática e complementam os métodos de ensaio in-situ.

Destaca-se o uso da máquina fotográfica, que permite fazer o levantamento fotográfico de todos os elementos construtivos analisados, assim como das zonas inspecionadas e das anomalias identificadas. A máquina deve ser digital e ter uma resolução suficientemente elevada para que posteriormente seja possível proceder à análise detalhada dos registos fotográficos.

Quadro 4.4 - Equipamento de apoio utilizado na inspeção de fachadas

| Designação do equipamento        | Função / Utilização  |
|----------------------------------|--|
| Máquina fotográfica              | Registos fotográficos.   |
| Lupa 10x                         | Observação e medição de fissuras e outras descontinuidades.  |
| Comparador de fissuras           | Medição rápida da largura de fissuras por comparação das escalas   |
| Fita métrica (3 m)               | Medições de juntas, material cerâmico, áreas de fachadas objeto de estudo (refere-se que para grandes extensões, os distanciómetros a laser serão mais úteis). |
| Escova                           | Limpeza da superfície a inspecionar, identificação de eflorescências solúveis (eliminadas com escovagem a seco, com ou sem água).                              |
| Recipiente pulverizador com água | Para avaliação das superfícies após molhagem (existência de fissuração, pulverulência e efeito “beading” característico das superfícies hidrorrepelentes)      |
| Bússola                          | Determinação da orientação das fachadas.   |

#### 4.4.3 ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO (TUBOS DE KARSTEN)

##### 4.4.3.1 Introdução

No presente trabalho o objetivo da utilização do tubo de Karsten é obter uma medição objetiva da taxa de absorção de água pela superfície tratada e não tratada com produtos hidrorrepelentes.

Este ensaio será utilizado para determinar o grau de proteção fornecido por um tratamento hidrorrepelente de superfície e a sua eficácia para um determinado período de tempo (durabilidade do tratamento).

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão é baseado na metodologia adotada pela RILEM. É uma técnica de ensaio não destrutiva que consiste na medição do volume de água absorvido por uma

determinada superfície de proteção contra a penetração da água da chuva ou superfície de acabamento, após um determinado período de tempo, utilizando para isto um conjunto de pequenos tubos graduados (de 0 a 4 cm<sup>3</sup>), em forma de cachimbo, que são fixados às zonas da parede objeto de estudo para verificar o impacto das alterações sofridas nessas superfícies.

As leituras do volume de água absorvida pelas superfícies que se pretende estudar são realizadas com base no abaixamento do nível de água observado nos tubos graduados. A medição da água absorvida pode ser usada para caracterizar, qualitativamente, o estado em que se encontra a superfície das fachadas. Através deste método é possível efetuar comparações no sentido de avaliar as alterações superficiais que modificam a absorção de água pelas superfícies a avaliar, sendo possível estimar o grau de degradação a que o material foi submetido.

O ensaio de permeabilidade à água sob baixa pressão tem sido adotado por vários laboratórios e institutos de informação e pesquisa científica do setor da construção, dos quais se destacam o LNEC e o CSTC.

Neste trabalho desenvolveu-se um procedimento experimental para a avaliação da permeabilidade à água líquida baseado na ficha do LNEC FE Pa 39.1 [33], elaborada com base no teste nº II.4 do RILEM com as necessárias adaptações.

#### 4.4.3.2 Breve história sobre o método do tubo de Karsten

O tubo de Karsten foi desenvolvido no final dos anos cinquenta, para medir a absorção de água pela pedra natural. Mais tarde, o dispositivo foi utilizado para medições em alvenaria de tijolo e da eficácia dos tratamentos repelentes de água.

Como a pressão de água no tubo de Karsten tem uma certa influência sobre a taxa de absorção, algumas teorias defendem que a água deve ser reposicionada após um determinado abaixamento do nível de água, a fim de manter a pressão constante. No entanto, a maioria dos materiais de construção têm um sistema relativamente fino de poros e, portanto, um potencial de sucção muito elevado, o que implica que uma vez iniciada a sucção, não haverá praticamente nenhuma diferença entre a absorção da água livre no tubo e da absorção de água sob uma pressão até cerca de 100 mm, razão pela qual a adição de água pode ser considerada supérflua. Em alguns materiais a sua taxa de absorção normal verifica-se apenas após algum tempo, devendo nestes casos desprezar a taxa de absorção realizada nos primeiros minutos. De acordo com vários investigadores, o volume de água absorvida deve ser medido entre 5 e 15 minutos, desprezando-se os primeiros 5 minutos.

#### 4.4.3.3 Absorção da superfície de tratamentos antigos

Algumas medições com o tubo Karsten podem resultar na absorção de água paralela à superfície e não em profundidade devido ao envelhecimento de um tratamento repelente de água. O efeito é visível através da dispersão circular da água em torno da área de contacto do tubo. Neste último caso a absorção de água, será uma função linear do tempo, enquanto que na situação normal da absorção em profundidade será uma função parabólica. Assim, torna-se conveniente efetuar um número suficiente de leituras de absorção de água versus tempo durante os ensaios do tubo de Karsten, com o objetivo de obter um gráfico que permita avaliar o tipo de absorção de água.



#### 4.4.3.4 Pressão da água que pode ser suportada pela superfície da alvenaria

O principal objetivo de um repelente de água é evitar a penetração da água da chuva. O vento quando conduz a chuva para a fachada exerce nesta uma pressão. Como as gotas de chuva que chegam à superfície da alvenaria com a velocidade do vento têm uma energia mais elevada do que a do vento, devido à sua maior massa por volume, a zona repelente de água da alvenaria deve resistir a uma certa pressão de água.

A ação do vento com uma velocidade de 140 km/h que atua perpendicularmente a uma superfície, exerce uma pressão de coluna de água de 92 milímetros ( $9,2 \text{ N/mm}^2$ ) na superfície, para além do efeito causado pelo aumento da energia das gotas de chuva.

O facto do repelente de água ser capaz de resistir a uma pressão de coluna de água de 100 mm, significa que não há penetração da água da chuva. O tubo de Karsten normalmente usado tem no nível mais alto da escala do tubo o valor correspondente a uma altura de aproximadamente 98 mm (distância entre o zero da escala “0” e o centro da base cilíndrica). O uso de tubos Karsten especialmente concebidos para maiores pressões conseguiram provar que materiais tratados recentemente, como o tijolo, pode resistir em alguns casos a pressões de mais de 200 mm de água, enquanto que as juntas de argamassa podem resistir a pressões de 50 a 150 mm. No entanto, é prática comum considerar suficiente para a avaliação dos tratamentos repelentes à água existentes, se estes têm ou não, capacidade de resistir a uma coluna de água de 100 mm [35].

#### 4.4.3.5 Aparelhos e utensílios utilizados no ensaio

De acordo com o recomendado na ficha do LNEC FE Pa 39.1 [33], será utilizado o conjunto de, no mínimo, três pequenos tubos de vidro graduados, denominados tubos de Karsten, podendo esta técnica de ensaio com os tubos de Karsten ser realizada in-situ ou em laboratório.

Conforme a superfície do material a ser ensaiada, podem ser utilizadas duas formas diferentes de tubos, uma para medição da permeabilidade em superfícies verticais e outra para superfícies horizontais.

O tubo de Karsten para superfícies verticais é semelhante a uma peça em forma de cachimbo, que consiste num tubo graduado de 0 a 4 cm<sup>3</sup> com uma parte inferior em formato cilíndrico cujo fundo é fechado. A secção do tubo que encosta à superfície de ensaio é aberta, tem uma superfície de 5,7cm<sup>2</sup> e possui um rebordo circular plano para fixar o dispositivo à superfície da parede a ensaiar (Fig. 4.6).

Para superfícies horizontais o tubo a utilizar difere um pouco do formato do tubo utilizado para superfícies verticais.

Para a execução desta técnica de ensaio, utilizou-se os seguintes aparelhos e utensílios;

- Três tubos de vidro graduados de 0 a 4 cm<sup>3</sup>;
- Mastique butílico em perfil pré-formado (em vez de silicone);
- Frasco de esguicho com água;
- Pipeta (para aferir o nível inicial de água);
- Folha de registo das medidas efetuadas;
- Escova / pano de limpeza (para limpeza da superfície a ensaiar);
- Cromómetro.

#### 4.4.3.6 Procedimento da técnica de ensaio

No que se refere ao modo de fixação do tubo às superfícies que se pretende estudar existe uma alteração importante a registar relativamente ao procedimento adotado pelo LNEC, sendo nesta técnica de ensaio normalmente utilizado silicone e a respetiva pistola manual ou de ar comprimido, para fixação dos tubos às superfícies a ensaiar. Para além de ser bastante morosa, visto que é necessário esperar pelo menos 20 minutos para deixar secar o silicone, esta técnica de ensaio revelou-se muito pouco prática em ensaios preliminares nas superfícies dos materiais cerâmicos e sobretudo nas juntas de argamassa a analisar, dado que se obtiveram vários ensaios inválidos devido à vedação entre as duas superfícies de contacto ser frequentemente defeituosa. Acrescenta-se ainda, que mesmo com o auxílio de um x-ato a remoção do tubos após a secagem do silicone é uma tarefa também difícil de realizar e origina facilmente a quebra do tubo de vidro e frequentemente deixa resíduos na superfície.

Como alternativa ao silicone será utilizada uma solução de fixação dos tubos com mastique butílico, em perfil pré-formado. É um perfil extrudido adesivo ao tato, à base de borracha butílica, cuja aplicação é bastante segura e limpa. Aplica-se o comprimento adequado de perfil ao bordo da base do tubo de Karten fazendo uma ligeira compressão, removendo-se de seguida o papel não aderente do perfil, para depois o encostar à superfície a ensaiar e exercer uma compressão adequada contra a superfície em contacto para uma perfeita estanquidade. Após os ensaios com este tipo de material de vedação, verificou-se que este permitia uma fácil remoção das superfícies em contacto (vidro e material cerâmico) e que não deixava resíduos.

Antes de se efetuar a campanha experimental foram efetuados ensaios preliminares que permitiram validar os requisitos necessários para este material como solução eficaz de vedação, nomeadamente, a tensão de aderência, a facilidade e rapidez de aplicação e remoção. Foi também efetuado um teste preliminar deste material de vedação face à absorção de água que consistiu na fixação de um tubo de Karsten com um volume de água de 4 ml à superfície de um vidro liso durante 24 horas, e verificou-se no fim do ensaio que a medida inicial se manteve durante esse período de tempo (Fig. 4.5)



Fig. 4.5 – Validação do material de fixação do tubo de Karsten face à absorção de água.

No presente trabalho a medida de água absorvida, sob baixa pressão, pela superfície das fachadas objeto de estudo, será determinada após decorridos determinados períodos de tempo: 5, 10, 15, 30 e 60 minutos.

O procedimento adotado para esta técnica de ensaio envolve a seguinte sequência de operações:

- Define-se, e numera-se com caneta marcadora, a localização dos tubos de Karsten a ensaiar no paramento, tendo em conta zonas regulares e sem presença de microfissuras visíveis à superfície;
- Limpa-se as zonas de colocação dos tubos, com o auxílio de escova e / ou pincel;
- Cobre-se com o perfil pré-formado de mastique butílico, a superfície do bordo do tubo que irá ficar em contacto com a superfície da fachada a ensaiar,
- Fixam-se os tubos às zonas da fachada a serem ensaiadas, pressionando-os sobre o paramento;
- Introdução de água nos tubos até à graduação 0  $\text{cm}^3$  e esperam-se 5 minutos para efetuar a primeira leitura em cada um dos (três) tubos, com base no abaixamento do nível da água observado nos tubos;
- Repetem-se as leituras aos 10, 15, 30 e 60 minutos seguintes.

Um dos passos importantes neste procedimento é o cuidado a ter na aplicação do vedante na base do tubo de Karsten, para que a área de ensaio não influencie a quantidade de absorção de água.

O procedimento descrito anteriormente tem em conta o tipo de materiais a ensaiar e a velocidade de absorção da água, ou seja, regra geral será adotado este procedimento quando o abaixamento do nível da água observado nos tubos é reduzido. Nos casos em que se verifiquem abaixamentos rápidos devidos à elevada absorção do material a ensaiar, o procedimento será alterado, fazendo-se a reposição do nível de água nas leituras efetuadas aos 5, 10, 15, 30, 60 minutos, com o auxílio de uma pipeta.

O procedimento correto de uso do tubo de Karsten está ilustrado na figura (Fig. 4.6).

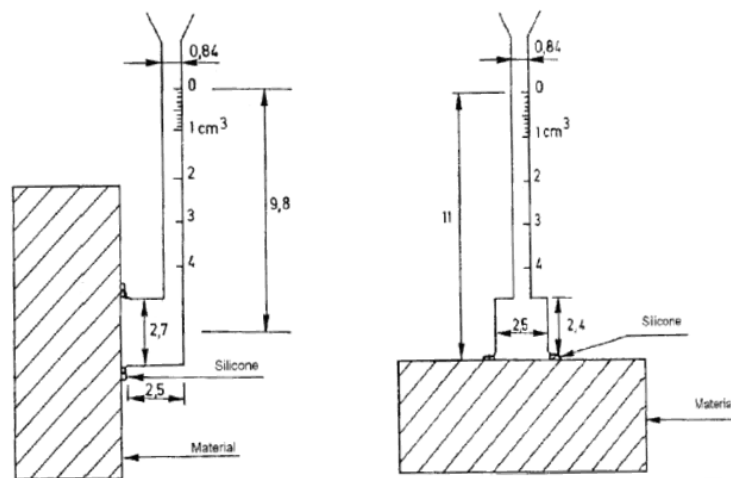


Fig. 4.6 – Esquemas dos tubos de Karsten para superfícies verticais e horizontais [33].

De um ponto de vista prático, o procedimento proposto para testes in-situ é muito demorado devido ao longo período de tempo de realização do ensaio (60 minutos) e não é fácil realizar várias medições ao mesmo tempo, sobretudo quando é necessário fazer a reposição do nível de água após a primeira leitura. A abordagem é interessante, contudo, também tem limitações.

Os resultados dos ensaios exprimem-se pelos valores de água absorvida, em  $\text{cm}^3$ , em cada uma das três zonas ensaiadas, e pela respetiva média aritmética.

No sentido de ser possível comparar os resultados obtidos sobre diferentes tipos de superfícies tratadas ou não tratadas e avaliar a eficácia de um determinado tratamento, é importante que a recolha de dados na ficha de registo de ensaios permita a seguinte informação:

- Identificação da superfície a ensaiar e, se possível, idade de aplicação do revestimento;
- Descrição da superfície ensaiada;
- Informação sobre qualquer alteração eventualmente introduzida na execução do ensaio;
- Identificação do material utilizado para a fixação do tubo à superfície a ensaiar;
- Número de tubos de Karsten usados no ensaio;
- Valores individuais e médios do volume de água absorvida;
- Gráfico do volume de água absorvida, em centímetros cúbicos, em função do tempo, em minutos.

#### 4.4.3.7 Parâmetros de medição e análise estatística no estudo dos resultados

Para uma melhor interpretação e análise dos resultados obtidos nos ensaios efetuados na campanha experimental deste trabalho, faz-se uma breve exposição dos parâmetros que foram objeto de estudo, nomeadamente a absorção de água à superfície e do respetivo tratamento estatístico que consiste em determinar o coeficiente de absorção, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação:

##### a) Absorção de água à superfície e coeficiente de absorção

De acordo com Scartezini *et al*, referido por Flores-Colen [19], é possível determinar o coeficiente de água absorvida através da inclinação da reta obtida no gráfico do volume absorvido de água.

Segundo Kunzel *et al*, referido por Flores-Colen [19], a absorção de água absorvida pela fachada ( $A_{fachada}$ ), devida à ação da chuva e do vento durante um determinado período de tempo, pode ser determinada através da equação (Eq. 4.1).

$$A_{fachada} = C_{absorção} \cdot \sqrt{t_{chuva}} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Em que:

- $A_{fachada}$  = absorção de água ( $\text{kg/m}^2$ );
- $C_{absorção}$  = coeficiente de absorção de água da camada superficial ( $\text{kg}/[\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}]$ ), que é o declive da reta do gráfico com a absorção de água nas ordenadas e a raiz quadrada do tempo nas abcissas;
- $t_{chuva}$  = tempo do ensaio (h).

Flores-Colen [19], refere ainda como alternativa de cálculo do coeficiente de absorção de água para esta técnica de ensaio, que depende da quantidade de água absorvida e do diâmetro da superfície em contacto, a expressão seguinte ((Eq. 4.2):

$$C_{absorção} = \frac{x \cdot 10^{-3}}{d^2 \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{t}\right)} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Em que:

- $C_{absorção}$  = Coeficiente de absorção de água ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$ );
- $x$  = Quantidade de água absorvida (leitura em ml);
- $d$  = Diâmetro da superfície em que é feita a penetração de água (mm);
- $t$  = Duração da leitura (h).

Regra geral, a análise dos resultados da absorção de água será feita com recurso a dois parâmetros: absorção de água aos 60 minutos ( $\text{cm}^3/\text{h}$ ) e o coeficiente de absorção de água aos 60 minutos ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$ ), optando-se por utilizar esta equação para a determinação deste coeficiente.

Esta técnica de medição de água sob baixa pressão está dependente de vários fatores que podem contribuir para a variabilidade dos resultados dos ensaios. Os principais fatores que influenciam esta técnica são [19]:

- A existência de anomalias nas superfícies a serem ensaiadas (microfissuras, fissuras, sujidade, a presença de sais e de micro-organismos);
- A redução da área de contacto da água com a superfície a ser ensaiada devida ao excesso de material de fixação no bordo interior do tubo;
- Garantir um nível constante de pressão da água durante a realização do ensaio.
- A variação do número de ensaios realizados;
- O tipo de material de fixação do tubo;
- A rugosidade do acabamento das superfícies;
- A orientação dos furos da alvenaria de tijolo;
- A idade dos suportes e superfícies tratadas ou não;
- As condições de inspeção (temperatura ambiente e superficial, humidade relativa, teor de humidade da superfície a ensaiar, hora do dia, a incidência solar).

b) Eficácia ( $E_{Abs}$ )

Este parâmetro de ensaio já foi explicado no capítulo 3 (ver § 3.3), assim como a sua expressão de cálculo. Resumidamente é definida como uma razão percentual entre as diferenças da quantidade de água absorvida ao fim de um dado intervalo de tempo antes ( $Abs_{NT}$ ) e após tratamento ( $Abs_T$ ), relativamente à absorção registada no mesmo intervalo de tempo antes de tratamento ( $Abs_{NT}$ ), expressa em percentagem. Neste trabalho, avaliou-se a eficácia de absorção aos 15 minutos e aos 60 minutos, sendo consideradas as absorções médias ao fim de 15 e 60 minutos, respetivamente.

c) Média ( $\mu$ )

Na campanha experimental deste trabalho, a média foi utilizada para permitir ter uma noção global de um determinado parâmetro a avaliar do paramento ensaiado.

d) Desvio padrão ( $\sigma$ )

O desvio padrão representa uma medida de dispersão usada com a média dos resultados dos ensaios, medindo a variabilidade dos desvios. Quando assume o valor zero, significa que não existe variabilidade e que todos os valores são iguais à média.

e) Coeficiente de variação ( $cv$ )

O coeficiente de variação é determinado, dividindo o desvio padrão pela média. Este coeficiente representa uma medida de dispersão que serve para comparar distribuições diferentes. Quanto menor for o seu valor mais homogéneo é o conjunto de dados a que está associado.

#### 4.4.4 ENSAIO DO TEOR DE HUMIDADE À SUPERFÍCIE (HUMIDÍMETRO PORTÁTIL)

##### 4.4.4.1 Introdução

A medição do teor em água de uma parede pode ser efetuada recorrendo a diversas técnicas, que podem ser mais ou menos destrutivas. Os humidímetros elétricos portáteis são a primeira opção para medição do teor em água superficial dos paramentos porque o método de medição neste tipo de aparelhos é simples, rápido e não provoca qualquer destruição da superfície a ensaiar. Estes aparelhos têm como principal vantagem o facto de permitirem a medição expedita da humidade superficial em paredes, detetando infiltrações, humidade capilar ou manchas existentes à superfície.

Através da realização de medições com um humidímetro ao longo de uma determinada parede, é possível acompanhar a distribuição da humidade ao longo dessa superfície, assim como, com a realização de medições ao longo de um determinado período de tempo, permite interpretar a variação do teor em água na parede.

Os humidímetros permitem a obtenção de informações de carácter qualitativo sobre o teor de humidade à superfície objeto de análise. Os resultados fornecidos por esta técnica têm interesse em termos comparativos e não absolutos, podendo ser uma ferramenta bastante útil na análise de zonas com elevado teor de humidade, nomeadamente na deteção de determinadas anomalias relacionadas com a presença de água. Refere-se ainda que os valores obtidos permitem estimar as variações a que as superfícies dos paramentos estão sujeitas nas suas condições naturais de exposição.

Encontram-se disponíveis no mercado vários tipos de humidímetros. Dependendo das marcas e modelos, existem aparelhos digitais e analógicos com diferentes escalas de medição do teor de humidade. No final do ensaio é registado o valor observado no aparelho que corresponde ao teor de humidade à superfície, existindo aparelhos que permitem leituras numa escala relativa de 0 a 100% e outros que permitem leituras numa escala numérica de 0 a 10 e também de 0 a 100.

O humidímetro utilizado neste trabalho, é um aparelho portátil que mede a resistência elétrica do material para determinar o teor de humidade, indicando o valor medido numa escala de medição de 0 a 100 (dígitos), com uma resolução de 1 dígito, sendo de fácil utilização. Um contacto leve do sensor esférico com o material a ensaiar é suficiente para que a sonda meça a humidade até 40 mm de profundidade no objeto de forma não destrutiva.

Este aparelho apresenta para a generalidade dos materiais de construção (com exceção do gesso), uma classificação para os valores das leituras fornecidos pelo aparelho (Fig. 4.7):

- Leitura: 0 a 25 (seco);
- Leitura: 26 a 50 (semiseco);
- Leitura: 51 a 75 (húmido);
- Leitura: > 75 (molhado).

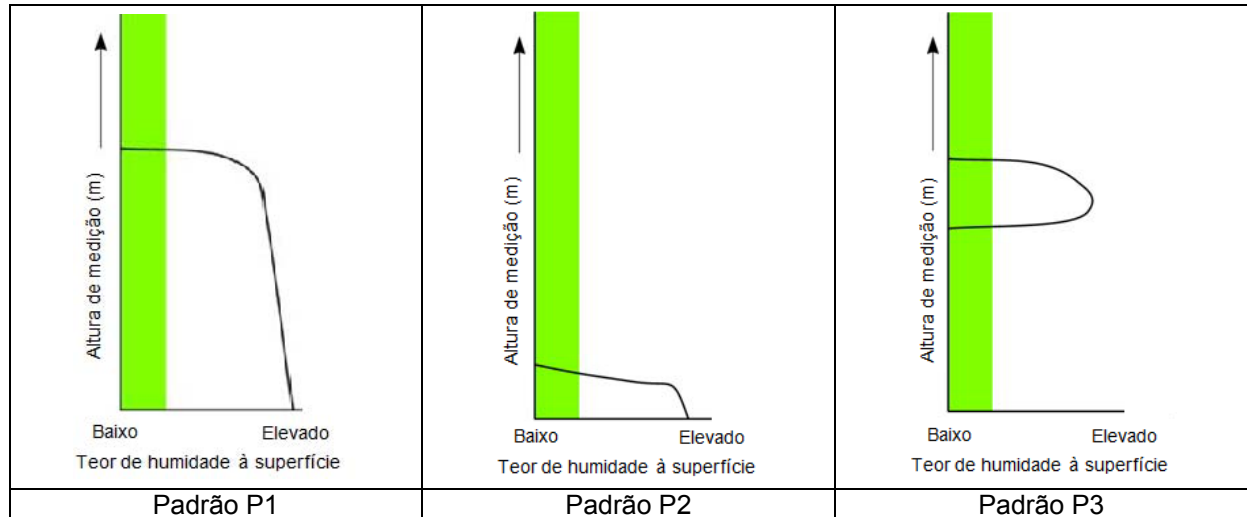


Fig. 4.7 – Humidímetro portátil

Segundo Coleman [34], pode ser usado um humidímetro elétrico para o desenho de um “perfil” de leituras de humidade. Para isso, as medições do teor de humidade nos paramentos devem ser feitas em séries verticais de leituras, sendo os valores obtidos comparados qualitativamente ao longo da altura da parede. Seguidamente descrevem-se como exemplo alguns perfis de humidade padrão obtidos pela

tomada de medições sobre a superfície em alturas crescentes, de modo a ser possível fazer interpretações de tais “perfis” de medição da humidade, recolhidos com um humidímetro de resistência / condutividade (Quadro 4.5).

Quadro 4.5 – Padrões tipo de perfis de humidade obtidos em séries verticais de leituras (adaptado de [34])



Padrão P1: Este padrão é típico da humidade ascendente ativa podendo atingir alturas acima de um metro e caracteriza-se por leituras superficiais elevadas, frequentemente em declínio suave, terminando por um corte brusco.

Padrão P2: É caracterizado por leituras elevadas logo acima da base da parede.

Padrão P3: É caracterizado por leituras muito baixas na parte inferior de uma parede, depois uma faixa com leituras superficiais muito elevadas que poderão por exemplo estar associadas à existência de fissuração no paramento exterior.

#### 4.4.4.2 Fatores que influenciam os resultados

Segundo Flores-Colen [19], os principais fatores que influenciam o teor de humidade medido pelo humidímetro são:

- A presença de sais higroscópicos na superfície a medir pode aumentar significativamente o valor de leitura do humidímetro;
- A temperatura da superfície - alguns aparelhos têm em conta este parâmetro;
- As condições climáticas - não é recomendado a utilização destes aparelhos durante os períodos de chuva ou quando os paramentos se encontrarem muito humedecidos;
- O tipo de escalas de leitura - nos aparelhos analógicos, em particular os que têm escalas de valores muito “curtas”, torna-se difícil registar os valores com precisão;
- O estado de conservação da superfície – a existência de anomalias superficiais relacionadas com a presença de humidade;
- O tipo de equipamento - os humidímetros com elétrodos que necessitam ser cravados nos paramentos, para além de afetarem a integridade da superfície ensaiada, têm uma reduzida área de contacto para a leitura;
- Meios de acesso à zona a ensaiar - Esta técnica de ensaios está dependente da acessibilidade à zona a ensaiar e aos meios de acesso disponíveis.

#### 4.4.5 TEMPERATURA SUPERFICIAL E CONDIÇÕES DE HUMIDADE E TEMPERATURA DO AR

A temperatura superficial das superfícies de estudo, a temperatura ambiente e a humidade relativa podem ser medidos com recurso a um aparelho de leitura digital que integra um termómetro de infravermelhos e um higrómetro com as seguintes especificações técnicas:

- Faixa de temperatura: -50 ... 380 ° C
- Faixa de humidade: 0 ... 100% H.r.

Este aparelho mede os parâmetros referidos sem contacto, é uma técnica não destrutiva que permite fazer pequenos mapeamentos de temperatura à superfície (Fig. 4.8).



Fig. 4.8 – Termómetro de infravermelhos e higrómetro

O termo-higrómetro foi utilizado na campanha experimental deste trabalho durante as inspeções in-situ para medir as condições ambientais (humidade relativa e temperatura ambiente) e a temperatura superficial dos substratos dos paramentos objeto de ensaios.

#### 4.4.6 FICHAS DE INSPEÇÃO E ENSAIO

Para a campanha experimental do presente trabalho foram elaboradas duas fichas com o objetivo de simplificar e organizar toda a informação recolhida durante as inspeções e ensaios in-situ. A ficha, designada por “Ficha de inspeção visual”, está dividida em duas páginas que se apresentam nas figuras (Fig. 4.9, Fig. 4.10) visa sobretudo caracterizar os locais de ensaio, assim como os fatores relevantes que influenciam o nível global de degradação da fachada, como por exemplo a idade de construção, a idade de aplicação dos tratamentos hidrorrepelentes, o grau de exposição aos vários agentes de degradação, etc. Esta ficha permite a recolha de informações importantes relacionadas com as seguintes características:

- Identificação do edifício (Nome, Localização e contactos efetuados para informações sobre o edifício);
- Caracterização do edifício (Caracterização funcional do edifício, Idade da construção, Nº pisos elevados, Tipo de estrutura, Tipo de envolvente, Proximidade do mar, Proximidade do mar, Proximidade do tráfego, Tipologia implementada de manutenção);
- Características da fachada (Identificação, Área, Tipo de suporte, Isolamento térmico, Tipo revestimento cerâmico, Tipo de hidrorrepelente, Fase de aplicação do hidrorrepelente, Conceção e forma geral da fachada, Exposição do bordo superior da fachada à chuva,



Orientação, Exposição ao sombreamento de obstáculos, Última intervenção de manutenção/reabilitação);

- Condições de inspeção (Hora do dia (h: mim), Temperatura ambiente (Graus C), Humidade relativa (%), Condições atmosféricas);
- Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias nos paramentos exteriores e interiores da fachada).

A ficha, designada por “Ficha de ensaios in-situ”, é apresentada na figura (Fig. 4.11). Esta ficha complementa a Ficha de inspeção Visual e contém a informação relativa ao registo das leituras de medição realizadas in-situ relativas às técnicas de ensaio de absorção de água sob baixa pressão (tubo de Karsten) e ensaio para determinação do teor de humidade à superfície (humidímetro portátil). Relativamente aos ensaios do tubo de Karsten e do humidímetro, salienta-se o registo de dados relativos à localização e à zona de medição nos paramentos analisados.

| FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| Ficha Nº <input type="text" value="FI-01"/>  | Data de inspecção <input type="text" value="12-05-2013"/>  | Responsável <input type="text" value="J. Oliveira"/>  |  |
| <b>1 - Identificação do edifício</b>   |  |   |  |
| 1.1 - Nome <input type="text" value="Vila Mar"/>   |  |   |  |
| 1.2 - Localização <input type="text" value="Avenida Major Botelho Moniz - Miramar -V. N. Gaia"/>   |  |   |  |
| 1.3 - Contactos efectuados:  |  |   |  |
| Proprietário <input type="text"/>  | Empreiteiro <input checked="" type="checkbox"/>  | Condómino <input checked="" type="checkbox"/>   | Outro <input type="text"/>                   |
| <b>2 - Caracterização do edifício</b>  |  |   |  |
| 2.1 - Caracterização funcional do edifício:  |  |   |  |
| Habitação <input checked="" type="checkbox"/>  | Serviços <input type="checkbox"/>  | Outra <input type="text"/>  |  |
| 2.2 - Idade da construção (anos) <input type="text" value="12"/>   |  |   |  |
| 2.3 - Nº pisos elevados <input type="text" value="3"/>   |  |   |  |
| 2.4 - Tipo de estrutura:   |  |   |  |
| Betão armado <input checked="" type="checkbox"/>   | Outra <input type="text"/>   |   |  |
| 2.5 - Tipo de envolvente:  |  |   |  |
| Urbana <input type="checkbox"/>  | Rural <input type="checkbox"/>   | Industrial <input type="checkbox"/>   | Marítima <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2.6 - Proximidade do mar:  |  |   |  |
| < 1 Km <input checked="" type="checkbox"/>   | 1 a 5 Km <input type="checkbox"/>  | > 5 Km <input type="checkbox"/>   |  |
| 2.7 - Proximidade do tráfego:  |  |   |  |
| Rodoviário <input type="text" value="PI"/>   | Ferroviário <input type="text" value="PI"/>  | Aéreo <input type="text"/>  |  |
| Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso   |  |   |  |
| 2.8 - Manutenção:  |  |   |  |
| Tipologia implementada <input type="text" value="Curativa"/>   | Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções <input type="text" value="Sem"/>                     |   |  |
| <b>3 - Características da fachada</b>  |  |   |  |
| 3.1 - Identificação/Código <input type="text" value="F01S"/>   |  |   |  |
| 3.2 - Área:  |  |   |  |
| Altura (m) <input type="text" value="9"/>  | Largura (m) <input type="text" value="12"/>  |   |  |
| 3.2 - Tipo de suporte:   |  |   |  |
| Alvenaria de parede dupla de tijolo furado <input checked="" type="checkbox"/>   |  | Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista <input type="checkbox"/> |  |
| Outro/Obs. <input type="text"/>  |  |   |  |
| 3.3 - Isolamento térmico:  |  |   |  |
| Isolante térmico na caixa-de-ar <input checked="" type="checkbox"/>  |  | Sem isolante térmico <input type="checkbox"/>   |  |
| 3.4 - Tipo revestimento cerâmico:  |  |   |  |
| Descrição <input type="text" value="Plaquetas cerâmicas (Forras), Dim. 240 x 70 x 20 mm, cor bege"/>   |  | Largura juntas (mm) <input type="text" value="10 / 12"/>                                    |  |
| 3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo) <input type="text" value="Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa."/> |  |   |  |
| 3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:  |  |   |  |
| Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir) <input type="checkbox"/>  |  |   |  |
| Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água <input checked="" type="checkbox"/>                           |  |   |  |
| 3.7 - Concepção e forma geral da fachada:  |  |   |  |
| Regular <input checked="" type="checkbox"/>  |  | Irregular <input type="checkbox"/>  |  |
| 3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:  |  |   |  |
| Reduzida <input type="checkbox"/>  |  | Média <input checked="" type="checkbox"/>   | Elevada <input type="checkbox"/>             |
| 3.9 - Orientação:  |  |   |  |
| Norte <input type="checkbox"/>   | Sul <input checked="" type="checkbox"/>  | Oeste <input type="checkbox"/>  | Este <input type="checkbox"/>                |
| Outra <input type="text"/>   |  |   |  |
| 3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:  |  |   |  |
| Edifícios vizinhos <input type="text" value="NA"/>   | Árvores <input type="text" value="NA"/>  | Vegetação rasteira <input type="text" value="NA"/>  | Outra <input type="text"/>                   |
| 3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:  |  |   |  |
| Ano <input type="text" value="2011"/>  | Descrição <input type="text" value="Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água"/> |   |  |
| <b>4 - Condições de inspecção</b>  |  |   |  |
| 4.1 - Hora do dia (h:mim) <input type="text" value="10:55"/>   | 4.2 - Temperatura ambiente (Graus C) <input type="text" value="21,5"/>                                 | 4.3 - Humidade relativa (%) <input type="text" value="65"/>                                 |  |
| 4.4 - Condições atmosféricas:  |  |   |  |
| Sol <input type="checkbox"/>   | Sol incidente <input checked="" type="checkbox"/>  | Nublado <input type="checkbox"/>  | Chuva <input type="checkbox"/>               |
| Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção <input type="text" value="0"/>                                     |  | Data da última precipitação <input type="text"/>  |  |

Fig. 4.9 – Ilustração da Ficha de Inspeção Visual (página1/2)

| 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)  |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
|--|---------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada</b>  |               | Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|  |               | Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |
| <b>5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial</b>   | <b>Código</b> |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Vertical   | Fe1           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Horizontal   | Fe2           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Oblíqua ou em escada   | Fe3           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial</b>   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Omnidireccionais   | Fe4           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas</b>  |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes - cor escura-castanha, cinzenta ou preta)   | Me4           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Manchas de oxidação  | Me6           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Graffiti   | Me7           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)  | Me8           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)   | Me9           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.1.4 - Materiais cerâmicos</b>   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte)  | Ce1           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Outras:  | Ce0           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas; |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| FPL - Fissuras de pequena largura ( $\leq 0,2$ mm); FLS - Fissuras de largura significativa ( $> 0,2$ mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada</b>   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
|  |               | Compartimentos              |     |     |     |     |     |     |     |
|  |               | C1                          | C2  | C3  | C4  | C5  | C6  |     |     |
| Tipo de utilização (*)   |               | Q1                          | Q2  | Q3  | S   |     |     |     |     |
| Nº do piso elevado (**)  |               | P2                          | P2  | P2  | P2  |     |     |     |     |
| Legenda: (*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.<br>(**) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.  |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores</b>  |               | Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|  |               | Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |     |     |     |
| <b>5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação</b>   | <b>Código</b> |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Manchas e escorrências   | Hi1           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película)  | Hi2           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Bolores/fungos ou eflorescências   | Hi3           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Pulverulência  | Hi4           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores</b>  |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos   | Hi6           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Levantamento de soalho/tacos   | Hi7           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>5.3.3 - Fissuração</b>  |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Fissuração localizada com orientação preferencial  | Fi1           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial  | Fi2           |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas; |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| FPL - Fissuras de pequena largura ( $\leq 0,2$ mm); FLS - Fissuras de largura significativa ( $> 0,2$ mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>6 - Notas</b>   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Inspeção por observação visual sem registo de anomalias.   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |
| Alteração cromática de algumas peças substituídas na reabilitação da fachada, devido a diferenças de cor relativamente às peças originais.   |               |                             |     |     |     |     |     |     |     |

Fig. 4.10 – Ilustração da Ficha de Inspeção Visual (página2/2)

| FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
|--|-------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|--------|--|------------------------|-------------|------------|--------|
| Ficha de ensaio nº   |                         | FE_01                      |                        | Ficha de inspeção nº        |             | FI_01       |        | Data   | 04-05-2013             | Responsável | J.Oliveira |        |
| <b>1 - Identificação do edifício / fachada</b>   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| 1.1 - Nome do edifício   |                         |                            |                        | ED01 - Vila Mar             |             |             |        | 1.2 - Identificação da fachada inspeccionada |                        |             |            | F1-SUL |
| <b>2 - Paramento exterior objecto de ensaios</b>   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| 2.1 - Identificação do paramento   |                         |                            |                        | P1-S (lado cunhal esquerdo) |             |             |        | 2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N)       |                        |             |            | S      |
| 2.3 - Nº piso elevado  |                         |                            |                        | 2                           |             | 2.4 - Área: |        | Altura (m)                                   | 3                      | Largura (m) | 5          |        |
| <b>3 - Ensaio com tubo de Karsten</b>  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| Ensaio   | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**)  | Absorção de água (cm3) |                             |             |             |        | Validação do ensaio (***)                    | Observações            |             |            |        |
|  |                         |                            | 5 min                  | 10 min                      | 15 min      | 30 min      | 60 min |  |                        |             |            |        |
| K1   | CC                      | Z2                         | 0,1                    | 0,1                         | 0,1         | 0,2         | 0,3    | EV   | altura medição = 1,5 m |             |            |        |
| K2   | CC                      | Z2                         | 0,1                    | 0,1                         | 0,1         | 0,2         | 0,3    | EV   | altura medição = 0,5 m |             |            |        |
| K3   | CC                      | Z2                         | 0,1                    | 0,1                         | 0,1         | 0,2         | 0,2    | EV   | altura medição = 0,5 m |             |            |        |
| K4   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| K5   | JTI                     | Z2                         | 0,1                    | 0,2                         | 0,2         | 0,3         | 0,4    | EV   | altura medição = 1,5 m |             |            |        |
| K6   | JTI                     | Z2                         | 0,1                    | 0,2                         | 0,2         | 0,3         | 0,4    | EV   | altura medição = 0,5 m |             |            |        |
| K7   | JTI                     | Z2                         | 0,1                    | 0,15                        | 0,2         | 0,3         | 0,5    | EV   | altura medição = 0,5 m |             |            |        |
| K8   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| K9   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| K10  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| K11  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| K12  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| Legenda:<br>(*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.<br>(**) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.<br>(***) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido. |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| <b>4 - Ensaio com humidímetro</b>  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| <b>Perfil de humidade Nº 1</b>   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| Ensaio   | Altura medição (mm)     | Humidade (0 a 100 dígitos) |                        | Zona de medição (Zi)        | Observações |             |        |  |                        |             |            |        |
|  |                         | Material cerâmico          | Juntas                 |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H0   | 0                       | 38                         | 50                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H1   | 250                     | 44                         | 71                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H2   | 500                     | 50                         | 67                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H3   | 750                     | 40                         | 68                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H4   | 1000                    | 52                         | 60                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H5   | 1250                    | 40                         | 66                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H6   | 1500                    | 45                         | 68                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H7   | 1750                    | 48                         | 85                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H8   | 2000                    | 50                         | 80                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| <b>Perfil de humidade Nº 2</b>   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| Ensaio   | Altura medição (mm)     | Humidade (0 a 100 dígitos) |                        | Zona de medição (Zi) (*)    | Observações |             |        |  |                        |             |            |        |
|  |                         | Material cerâmico          | Juntas                 |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H0   | 0                       | 60                         | 71                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H1   | 250                     | 58                         | 62                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H2   | 500                     | 46                         | 67                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H3   | 750                     | 43                         | 78                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H4   | 1000                    | 45                         | 63                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H5   | 1250                    | 44                         | 71                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H6   | 1500                    | 46                         | 63                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H7   | 1750                    | 55                         | 70                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| H8   | 2000                    | 50                         | 66                     | Z2                          |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| Legenda:<br>(*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
| <b>6 - Notas</b>   |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |
|  |                         |                            |                        |                             |             |             |        |  |                        |             |            |        |

Fig. 4.11 – Ilustração da Ficha de Ensaio in-situ (registo de dados).

## **4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA CAMPANHA EXPERIMENTAL**

### **4.5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

De acordo com a metodologia proposta no presente trabalho, apresenta-se e analisa-se neste subcapítulo toda a informação recolhida na campanha experimental relativa às inspeções e ensaios realizados.

Os principais objetivos deste subcapítulo são:

- Analisar a eficácia dos tratamentos hidrorrepelentes, nomeadamente a sua capacidade de impermeabilização das superfícies de fachadas objeto de estudo através da técnica de ensaios de absorção de água sob baixa pressão (tubo de Karsten);
- Estudar a durabilidade de produtos hidrorrepelentes, através da avaliação da eficácia e do estudo de fachadas de um conjunto de edifícios com um extenso intervalo de tempo em serviço;
- Analisar a possibilidade de correlacionar a técnica de ensaio do tubo de Karsten com outros parâmetros de outras técnicas de ensaio, nomeadamente com o humidímetro, assim como, com as condições de temperatura superficial, e de temperatura e humidade do ar;
- Analisar o estado de degradação de fachadas observadas in-situ e a influência dos fatores de degradação em serviço.

A visita efetuada aos vários edifícios indicados como obras de referência de aplicação dos tratamentos hidrorrepelentes, permitiu a seleção de um conjunto de sete edifícios que já foram caracterizados no início deste capítulo. Após a observação das fachadas e tendo em conta o seu estado de degradação, foi selecionado de cada um desses edifícios um paramento exterior para objeto de estudo com um nível reduzido de degradação, de forma a reunir as condições de ensaio especificadas no procedimento descrito neste capítulo para a técnica de ensaio da absorção de água sob baixa pressão.

A apresentação e discussão dos resultados obtidos na campanha experimental, que na verdade poderia ser dividida em sete campanhas, ou seja, o mesmo número de paramentos estudados, será sempre que possível agrupada por conjuntos de edifícios com características comuns ou outras razões em que este agrupamento se justifique.

Durante a campanha experimental foram realizados mais de cinco dezenas de ensaios com tubos de Karsten, nos quais estão incluídos alguns ensaios inválidos e mais de 140 medições do teor de humidade à superfície das zonas ensaiadas com o humidímetro portátil.

### **4.5.2 RECOLHA DE INFORMAÇÃO PRÉVIA SOBRE AS FACHADAS OBJETO DE ESTUDO**

Antes de se proceder à recolha de dados em campo sobre as fachadas dos edifícios em serviço objeto de estudo, através da inspeção visual, procedeu-se à recolha de informação prévia desses edifícios, nomeadamente, aos dados relativos à sua caracterização, tais como, a idade de construção, a idade do tratamento hidrorrepelente, à sua evolução de degradação, etc.

Para o presente trabalho, a idade da aplicação do tratamento hidrorrepelente é indubitavelmente o dado mais importante no estudo da durabilidade das zonas a estudar em serviço. Neste sentido, a informação prévia foi recolhida de várias fontes de informação, nomeadamente, dos condóminos ou proprietários, dos empreiteiros, de agentes imobiliários e dos fornecedores dos produtos. Nos casos em que foi possível confrontar a informação recebida com mais do que uma fonte de informação, verificou-se que não houve divergências significativas a registar.

No entanto, surgiram alguns constrangimentos no que diz respeito à obtenção de informação sobre o historial de manutenção dos edifícios, particularmente sobre as patologias exteriores e interiores das fachadas. Excetuando o edifício ED01, em que foi possível obter informação detalhada sobre o estado de degradação das fachadas antes da sua reabilitação, nos restantes casos este tipo de informação foi na generalidade associada à necessidade de intervenção nas fachadas desses edifícios devido a anomalias relacionadas com a infiltração de água da chuva. A aplicação dos tratamentos hidrorrepelentes nas fachadas foi realizada em todos os edifícios na fase de reabilitação das fachadas como uma solução de proteção e redução da penetração da água da chuva.

#### 4.5.3 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual efetuada aos paramentos objeto de estudo foi precedida de uma observação geral de todas as fachadas dos edifícios selecionados de forma a poder realizar os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em zonas isentas de anomalias, nomeadamente, a fissuração, a presença de eflorescências, zonas com humidade, sujidade acumulada na superfície, superfícies fragmentadas, superfícies com pulverulência, etc.

Durante a inspeção visual, verificou-se que a generalidade dos paramentos estudados do conjunto selecionado de edifícios tinha um reduzido grau de degradação.

Foram detetadas algumas anomalias menos graves nesses paramentos relacionadas sobretudo com o aspeto das fachadas.

Regra geral as alterações cromáticas nos paramentos estudados são pouco pronunciadas, no entanto, verificou-se no paramento inspecionado do edifício ED01, a existência de várias peças cerâmicas com uma tonalidade mais clara que as peças originais, tendo estas sido colocadas durante a obra de reabilitação e tratamento hidrorrepelente da fachada.

As alterações cromáticas são mais pronunciadas em toda a superfície do paramento do edifício ED06, nomeadamente a alteração da cor do tijolo.

No paramento do edifício ED03, verificou-se a acumulação na superfície de material estranho de diversa natureza (poeiras, fuligem ou outras partículas poluentes).

A presença de organismos biológicos (algas, líquenes, musgos, fungos) verificou-se sobretudo, na zona superior do paramento do edifício ED05 e nas juntas de argamassa dos tijolos do paramento do edifício ED06. A colonização biológica está dependente do valor do pH da superfície, da presença da humidade, da temperatura, da luz e dos nutrientes existentes nas superfícies. Nestes casos, as zonas mais sujeitas a este tipo de ação correspondem às superfícies que permanecem húmidas por longos períodos de tempo, com menor exposição solar e com superfícies rugosas, nomeadamente as juntas de argamassa que facilitam a fixação dos agentes biológicos.

Na inspeção visual não se verificou a presença de anomalias relacionadas com fissuração. Foi observada posteriormente durante a fase de ensaios com os tubos de Karsten, alguma fissuração localizada de espessura menor que 0,3 mm, com orientação preferencial, nas juntas de argamassa dos edifícios ED03, ED06 e ED09.

Para além dos paramentos selecionados para a realização de ensaios de absorção de água sob baixa pressão com as condições já referidas anteriormente para se avaliar a eficácia dos produtos hidrorrepelentes, foram observadas algumas anomalias em paramentos de alguns edifícios que não foram objeto de estudo, mas que merecem algum destaque e análise. No Quadro 4.6, ilustram-se as principais anomalias observadas durante a inspeção visual.



Quadro 4.6 – Ilustração de algumas anomalias observadas durante a inspeção visual.

|  |  |
|--|--|
|   |    |
| <p>a) Alvenaria de parede dupla (sem tratamento hidrorrepelente), sem sistema de drenagem de água e com infiltração de água para os paramentos interiores.</p> | <p>b) Paramentos com presença generalizada de eflorescências, bastante pulverulência e descamação superficial do tratamento hidrorrepelente.</p>   |
|    |   |
| <p>c) Presença generalizada de fissuração com orientação em todos os paramentos tratados com hidrorrepelente.</p>  | <p>d) Paramento tratado com hidrorrepelente, apresenta as juntas de argamassa muito degradadas, descamação superficial, fendilhação, fragmentação superficial e destacamento do tijolo cerâmico.</p> |
|   |    |
| <p>e) Paramento tratado com hidrorrepelente com alteração cromática do tijolo cerâmico e fissuração sem orientação preferencial.</p>                           | <p>f) Paramentos tratados com hidrorrepelente com forte presença de colonização biológica. Paramentos na proximidade de arborização de grande porte e com fraca exposição solar.</p>                 |

Das várias patologias apresentadas neste quadro, destacam-se os paramentos que foram tratados com hidrorrepelentes e que neste momento apresentam anomalias graves, nomeadamente, o destacamento

da camada superficial do tijolo, ou seja, nas faces hidrofugadas. Sendo presumível que nestes paramentos existam infiltrações de água através das fissuras e das juntas muito degradadas, e que os sais provenientes do interior das paredes quando migram por capilaridade em direção à superfície encontram a camada superficial do tijolo hidrofugada não podem prosseguir o seu caminho, impossibilitando o transporte de líquidos por capilaridade através desta camada. Dado que nesta situação não é possível a formação de eflorescências porque os sais não conseguem atingir a superfície, verifica-se então a formação de criptoflorescências no interior dos substratos, ou seja, a cristalização de sais. O processo expansivo de formação criptoflorescências tende a “empurrar” para o exterior a camada hidrofugada, originado a sua fendilhação e posteriormente o seu destacamento.



#### 4.5.4 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE À SUPERFÍCIE (HUMIDÍMETRO PORTÁTIL)

##### 4.5.4.1 Particularidades registadas durante os ensaios de medição do teor de humidade

O quadro (Quadro 4.7) ilustra e descreve algumas particularidades registadas durante os ensaios de medição do teor de humidade à superfície em paramentos tratados e não tratados com produtos hidrorrepelentes no edifício ED01.

Quadro 4.7 – Ilustração de algumas particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em paramentos tratados e não tratados com produtos hidrorrepelentes.

|  |  |
|--|--|
|   |    |
| a) Paramento sem tratamento hidrorrepelente com fissuração generalizada nas plaquetas cerâmicas e juntas, com orientação vertical de espessura < 0,2 mm.   | b) Medição com humidímetro da zona com fissuração do paramento sem tratamento hidrorrepelente. Verificou-se um valor elevado do teor de humidade (classificação “molhado”).  |
|   |    |
| c) Medições pontuais do teor de humidade em paramento com tratamento hidrorrepelente contíguo ao paramento não tratado. Nas juntas de argamassa, registaram-se valores de humidade muito inferiores relativamente aos verificados nas juntas do paramento sem tratamento (cerca de 50%). | d) Medições pontuais do teor de humidade em paramento com tratamento hidrorrepelente contíguo ao paramento não tratado. Nas plaquetas cerâmicas registaram-se valores de humidade muito inferiores relativamente aos verificados nas plaquetas do paramento sem tratamento (cerca de 50%). |

##### 4.5.4.2 Apresentação e análise dos resultados

Com recurso ao humidímetro foram realizadas várias medições segundo linhas verticais do teor de humidade (escala 0 a 100 dígitos) em todos os paramentos dos edifícios objeto de estudo de forma a permitir construir os respetivos perfis de humidade.

No quadro da Fig. 4.12, apresenta-se uma síntese das medições do teor de humidade à superfície efetuadas nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo.

| Edifício/Perfil   | Substrato     | Altura de medição (m) |      |      |      |      |      |      |      |      | Média | Máx.   | Min.  | Amplitude | Desvio Padrão | Coeficiente Variação (%) |
|-------------------|---------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|-------|-----------|---------------|--------------------------|
|                   |               | 0,00                  | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 |       |        |       |           |               |                          |
| ED01 / P1-S / P1  | Mat. cerâmico | 38                    | 44   | 50   | 40   | 52   | 40   | 45   | 48   | 50   | 45,22 | 52,00  | 38,00 | 14,00     | 5,09          | 11,26                    |
| ED01 / P1-S / P2  | Mat. cerâmico | 60                    | 58   | 46   | 43   | 45   | 44   | 46   | 55   | 50   | 49,67 | 60,00  | 43,00 | 17,00     | 6,42          | 12,93                    |
| ED03 / P1-N / P1  | Mat. cerâmico | 85                    | 79   | 89   | 87   | 79   | 82   | 60   | 90   | 97   | 83,11 | 97,00  | 60,00 | 37,00     | 10,39         | 12,50                    |
| ED04 / P1-S / P1  | Mat. cerâmico | 45                    | 28   | 29   | 27   | 28   | 27   | 29   | 30   | 33   | 30,67 | 45,00  | 27,00 | 18,00     | 5,68          | 18,52                    |
| ED05 / P1-E / P1  | Mat. cerâmico | 29                    | 27   | 28   | 22   | 24   | 25   | 27   | 26   | 27   | 26,11 | 29,00  | 22,00 | 7,00      | 2,15          | 8,22                     |
| ED06 / P1-NW / P1 | Mat. cerâmico | 41                    | 38   | 37   | 32   | 36   |      |      |      |      | 36,80 | 41,00  | 32,00 | 9,00      | 3,27          | 8,89                     |
| ED08 / P1-S / P1  | Mat. cerâmico | 28                    | 26   | 28   | 30   | 28   | 29   |      |      |      | 28,17 | 30,00  | 26,00 | 4,00      | 1,33          | 4,72                     |
| ED09 / P1-S / P1  | Mat. cerâmico | 55                    | 60   | 32   | 25   | 24   | 29   | 24   | 27   | 23   | 33,22 | 60,00  | 23,00 | 37,00     | 14,10         | 42,46                    |
| ED01 / P1-S / P1  | Juntas        | 50                    | 71   | 67   | 68   | 60   | 66   | 68   | 85   | 80   | 68,33 | 85,00  | 50,00 | 35,00     | 10,21         | 14,94                    |
| ED01 / P1-S / P2  | Juntas        | 71                    | 62   | 67   | 78   | 63   | 71   | 63   | 70   | 66   | 67,89 | 78,00  | 62,00 | 16,00     | 5,16          | 7,60                     |
| ED03 / P1-N / P1  | Juntas        | 95                    | 93   | 91   | 88   | 80   | 84   | 100  | 85   | 80   | 88,44 | 100,00 | 80,00 | 20,00     | 6,88          | 7,77                     |
| ED04 / P1-S / P1  | Juntas        | 61                    | 48   | 39   | 41   | 39   | 36   | 40   | 38   | 53   | 43,89 | 61,00  | 36,00 | 25,00     | 8,37          | 19,08                    |
| ED05 / P1-E / P1  | Juntas        | 46                    | 42   | 40   | 41   | 40   | 36   | 40   | 41   | 43   | 41,00 | 46,00  | 36,00 | 10,00     | 2,69          | 6,57                     |
| ED06 / P1-NW / P1 | Juntas        | 40                    | 41   | 39   | 37   | 38   |      |      |      |      | 39,00 | 41,00  | 37,00 | 4,00      | 1,58          | 4,05                     |
| ED08 / P1-S / P1  | Juntas        | 51                    | 48   | 51   | 52   | 56   | 61   |      |      |      | 53,17 | 61,00  | 48,00 | 13,00     | 4,62          | 8,69                     |
| ED09 / P1-S / P1  | Juntas        | 77                    | 73   | 48   | 49   | 47   | 50   | 45   | 47   | 43   | 53,22 | 77,00  | 43,00 | 34,00     | 12,56         | 23,59                    |

Fig. 4.12 – Síntese das medições do teor de humidade à superfície efetuadas nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo.

No gráfico da Fig. 4.13, encontra-se expresso graficamente os valores médios do teor de humidade  $\pm$  desvios-padrão nos materiais cerâmicos e nas juntas de argamassa.

Da análise destes resultados, verifica-se o seguinte:

A análise do gráfico permite concluir que os valores médios do teor de humidade nos materiais cerâmicos são substancialmente inferiores aos medidos no substrato das juntas de argamassa.

Em todos os paramentos ensaiados, os materiais cerâmicos foram os que apresentaram os menores valores médios do teor de humidade, verificando-se que os valores, máximo e mínimo de absorção registados foram: 83,1 e 26,1, respetivamente.

Comparativamente, as juntas de argamassa apresentam valores médios do teor de humidade muito superiores, verificando-se que os valores, máximo e mínimo de absorção registados são: 88,4 e 39, respetivamente.

A generalidade dos paramentos estudados tem um coeficiente de variação relativamente baixo, o que permite concluir que existe uma homogeneidade do conjunto de leituras para cada paramento ensaiado, com exceção do edifício ED09, que apresenta coeficientes de variação para os dois tipos de substratos que se destacam dos restantes paramentos.

Analisando o gráfico com os valores médios do teor de humidade, e de acordo com a classificação apresentada pelo fabricante do aparelho para os valores das leituras fornecidos pelo humidímetro, verifica-se que uma quantidade significativa de paramentos apresenta para os dois substratos (material cerâmico e juntas de argamassa) valores do teor de humidade elevados, ou seja, encontram-se com a classificação “húmido” e “molhado”, sendo a classificação do teor de humidade do aparelho a seguinte:

- Leitura: 0 a 25 (seco);
- Leitura: 26 a 50 (semiseco);
- Leitura: 51 a 75 (húmido);
- Leitura: > 75 (molhado).

A análise dos resultados do teor de humidade será ainda mais desfavorável se forem analisados os valores limites máximos em vez dos valores médios.

Note-se que o paramento do edifício ED01, é o único em que foram medidos dois perfis de humidade, verificando-se que estes apresentam valores do teor de humidade similares.

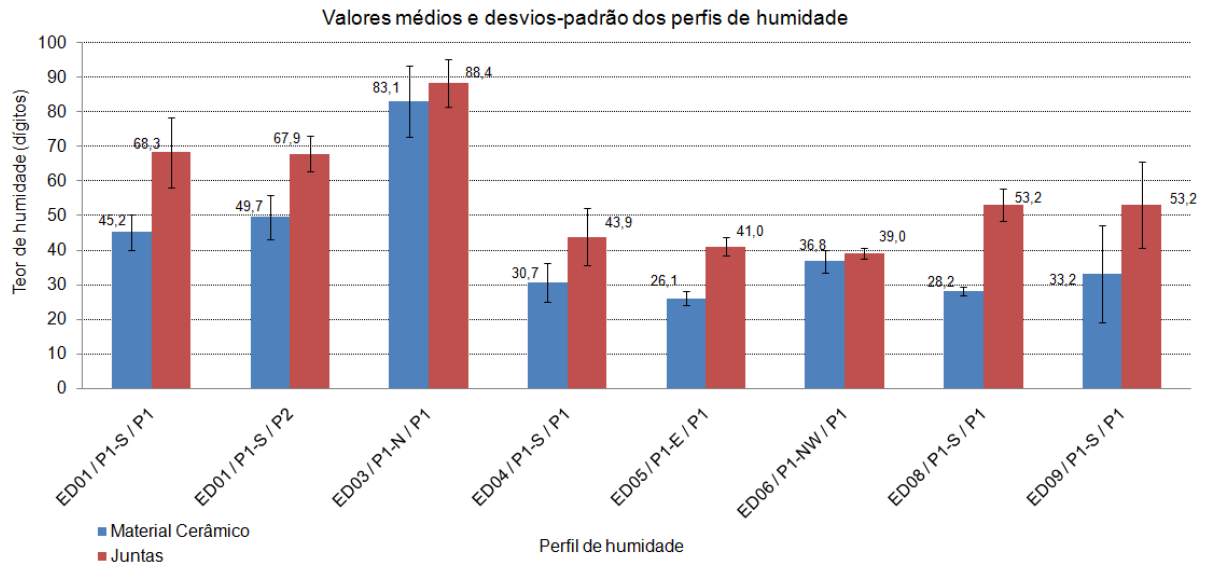


Fig. 4.13 – Gráfico com valores médios e desvios padrão do teor de humidade medidos nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo.

No gráfico da Fig. 4.14, encontra-se expresso graficamente os valores medidos no paramento do edifício ED03, que se destacou pelos elevados valores do teor de humidade medidos nos substratos de material cerâmicos e das juntas de argamassa. Note-se que do conjunto de paramentos em análise, este é o único paramento orientado a Norte.

A análise deste gráfico permite também identificar uma grande amplitude de valores do teor de humidade, localizada a 1.5 m de altura para os dois tipos de substratos. Presume-se que a causa do elevado do teor de humidade verificado nesse ponto nas juntas de argamassa possa estar relacionada com uma maior absorção de água devido à existência de uma fissura na interface junta / tijolo cerâmico de face à vista.

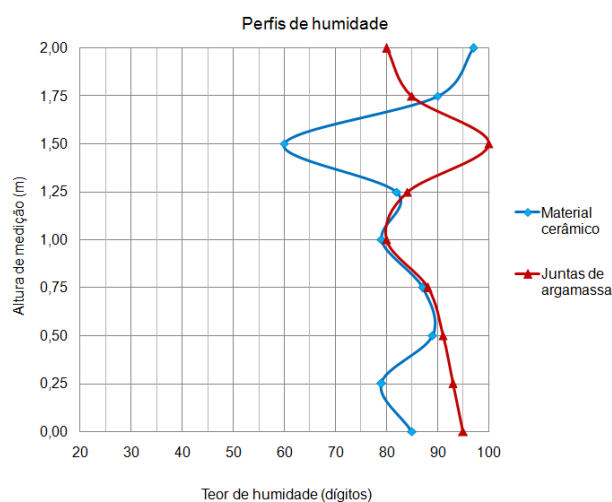


Fig. 4.14 – Evolução do teor de humidade ao longo do perfil do paramento do edifício ED03.





#### 4.5.5 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA SOB BAIXA PRESSÃO (TUBO DE KARSTEN)

##### 4.5.5.1 Particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água





No quadro seguinte (Quadro 4.8) estão ilustradas e descritas algumas particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em paramentos tratado e não tratado com produtos hidrorrepelentes no edifício ED01.

Quadro 4.8 – Ilustração de algumas particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em paramentos tratados e não tratados com produtos hidrorrepelentes.

|   |  |
|---|--|
|    |    |
| <p>a) Ensaio inválido do tubo de Karsten num paramento sem tratamento hidrorrepelente devido à perda de água pela vedação.</p>                                | <p>b) Ensaio inválido causado pela fuga de água através de fissura na área de absorção.</p>  |
|    |    |
| <p>c) Paramento sem tratamento hidrorrepelente com sais à superfície (eflorescências).</p>  | <p>d) Ensaio com fuga de água devido à má vedação causada pela pulverulência na superfície do substrato.</p>                               |
|    |    |
| <p>e) Ensaio realizado sem fugas de água sobre paramento com eflorescências. A fixação do tubo foi precedida de uma escovagem da superfície do substrato.</p> | <p>f) Ensaio realizado sobre o substrato com eflorescências durante um intervalo de 60 minutos com absorção de água praticamente nula.</p> |



Quadro 4.8 – Ilustração de algumas particularidades registadas durante os ensaios de absorção de água sob baixa pressão em paramentos tratados e não tratados com produtos hidrorrepelentes (Continuação).

|  |  |
|--|--|
|   |    |
| <p>g) Pulverização com água da superfície de um paramento tratado com hidrorrepelente à aproximadamente dois anos.</p>     | <p>h) O efeito pérola das gotas de água “beading” sobre a superfície tratada à dois anos ainda é visível.</p>                    |
|    |   |
| <p>i) Pulverização com água da superfície de um paramento não tratado com hidrorrepelente à aproximadamente dois anos.</p> | <p>j) Na superfície não tratada não é visível o efeito “beading” e a água pulverizada é facilmente absorvida pelo substrato.</p> |

#### 4.5.5.2 Apresentação e análise dos resultados dos ensaios realizados in-situ

No quadro resumo da Fig. 4.15, estão identificadas as zonas ensaiadas nos paramentos dos edifícios objeto de estudo com a técnica de ensaio tubo de Karsten. Neste quadro encontram-se dados relativos à quantidade de ensaios efetuada a cada um dos paramentos, às leituras de absorção efetuadas nos intervalos de tempo definidos, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos, assim como apresentam-se alguns dos fatores de influência sobre esta técnica de ensaio, nomeadamente a localização dos tubos de Karsten, no tipo de superfícies ensaiadas (material cerâmico, juntas de argamassa), as condições climáticas dos ensaios (temperatura, humidade relativa), a orientação solar, visibilidade de fissuras e a idade de aplicação do hidrorrepelente.

No quadro da Fig. 4.16, apresenta-se uma síntese dos valores da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min (tubo de Karsten) em função do tipo de substrato ensaiado nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo.

No gráfico da Fig. 4.17, encontra-se expresso graficamente os valores médios de absorção  $\pm$  desvios-padrão para os materiais cerâmicos e as juntas de argamassa.

Da análise destes resultados, verifica-se o seguinte:

Em todos os paramentos ensaiados, os materiais cerâmicos foram os que apresentaram os menores valores absorção de água, verificando-se que os valores, máximo e mínimo de absorção registados foram de 0,57 cm<sup>3</sup> e de 0,20 cm<sup>3</sup>, respetivamente.

Comparativamente, as juntas de argamassa apresentam valores absorção de água muito superiores, verificando-se que os valores, máximo e mínimo de absorção registados são, 0,27 cm<sup>3</sup> e 1,77 cm<sup>3</sup>, respetivamente.

A generalidade dos paramentos estudados tem um coeficiente de variação relativamente baixo, o que permite concluir que existe uma homogeneidade do conjunto de leituras de absorção de água para cada paramento ensaiado, com exceção do paramento cerâmico do edifício ED03, cujo coeficiente de variação é elevado (70,7%), assim como os valores de absorção de água relativos às juntas de argamassa dos paramentos dos edifícios ED03 e ED09, não foram considerados pelo facto de existir de uma grande variabilidade de valores.

No que diz respeito à dispersão dos resultados obtidos das medições de absorção de absorção de água sob baixa pressão, os dois tipos de substratos objeto de estudo apresentam baixas dispersões, no entanto, os substratos de material cerâmico apresentam uma menor variabilidade dos valores de absorção de absorção de água, relativamente aos substratos das juntas de argamassa.

Acrescenta-se ainda, que a generalidade das juntas de argamassa foi ensaiada sempre no mesmo tipo de junta (“T” invertido), de forma a reduzir a variabilidade dos resultados.

| Edifício | Paramento | Orientação | Idade do tratamento hidrorrepelente (anos) | Condições do Tempo | Humidade relativa (%) | Temperatura (°C) | Anomalias de fissuração visíveis (S/N) | Ensaio | Localização do tubo | Volume de Absorção de água (cm³) |        |        |        |        | Tempo Absorção 4 cm³ (min) |
|----------|-----------|------------|--|--------------------|-----------------------|------------------|--|--------|---------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     | 5 min                            | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                            |
| ED01     | P1-S      | Sul        | 2,0  | Sol                | 56,0                  | 17,0             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,1                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,1                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,1                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Não                                    | K5     | Juntas              | 0,1                              | 0,2    | 0,2    | 0,3    | 0,4    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 0,1                              | 0,2    | 0,2    | 0,3    | 0,4    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,1                              | 0,2    | 0,2    | 0,3    | 0,5    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     |                                  |        |        |        |        |                            |
| ED03     | P1-N      | Norte      | 11,0                                       | Sol                | 52,0                  | 18,0             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,1                              | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 43,0                       |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,8                              | 1,1    | 1,6    | 2,9    |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,1                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Sim                                    | K5     | Juntas              | 3,9                              |        |        |        |        | 33,0                       |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 1,0                              | 1,9    | 2,9    | 4,0    |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,8                              | 1,5    | 2,3    | 3,8    |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     |                                  |        |        |        |        |                            |
| ED04     | P1-S      | Sul        | 5,0  | Sol                | 29,0                  | 18,5             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,0    | 0,0    | 0,1    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,0    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,0    | 0,1    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Não                                    | K5     | Juntas              | 0,3                              | 0,4    | 0,6    | 1,1    | 1,8    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 0,2                              | 0,3    | 0,5    | 1,0    | 1,5    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,3                              | 0,5    | 0,6    | 1,2    | 2,0    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     |                                  |        |        |        |        |                            |
| ED05     | P1-E      | Este       | 8,0  | Sol                | 46,0                  | 18,5             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K4     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Não                                    | K5     | Juntas              | 0,0                              | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 0,0                              | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,0                              | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,3    |                            |
| ED06     | P1-NW     | NW         | 15,0                                       | Sol                | 51,0                  | 20,0             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,0    | 0,1    | 0,3    | 0,5    | 49,0                       |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,4    | 0,6    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,6    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Sim                                    | K5     | Juntas              | 0,9                              | 1,5    | 2,0    | 3,0    |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 0,2                              | 0,3    | 0,4    | 0,7    | 1,0    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,3                              | 0,5    | 0,7    | 1,0    | 1,4    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     |                                  |        |        |        |        |                            |
| ED08     | P1-S      | Sul        | 10,0                                       | Sol                | 47,0                  | 24,0             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Não                                    | K5     | Juntas              | 0,1                              | 0,2    | 0,3    | 0,4    | 0,7    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 0,1                              | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,6    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,1                              | 0,2    | 0,4    | 0,4    | 0,8    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     |                                  |        |        |        |        |                            |
| ED09     | P1-S      | Sul        | 10,0                                       | Sol                | 60,0                  | 17,0             | Não                                    | K1     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K2     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,0    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K3     | Mat. Cerâmico       | 0,0                              | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  | Sim                                    | K5     | Juntas              | 1,8                              | 2,2    | 3,6    |        |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K6     | Juntas              | 1,4                              | 1,9    | 2,9    |        |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  | K7     | Juntas              | 0,8                              | 1,2    | 2,1    | 3,0    |        |                            |
|          |           |            |  |                    |                       |                  |  |        |                     |                                  |        |        |        |        |                            |

Fig. 4.15 – Quadro resumo das zonas ensaiadas com a técnica do tubo de Karsten nos paramentos tratados com hidrorrepelentes dos edifícios objeto de estudo.

| Edifício | Localização do tubo | Nº ensaios por inspeção | Absorção Média (60 min) (cm³) | Desvio Padrão (cm³) | Coeficiente de Variação (%) | Coef. Abs. Médio (60 min.) (kg/[m².vh]) | "Velocidade" Absorção Média (60 min) ((cm³)/min) |
|----------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------|---|--|
| ED01     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,267                         | 0,06                | 21,7                        | 0,060                                   | 0,004  |
|          | Juntas              | 3                       | 0,433                         | 0,06                | 13,3                        | 0,098                                   | 0,007  |
| ED03     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,200                         | 0,14                | 70,7                        | 0,045                                   | 0,003  |
|          | Juntas              |                         |                               |                     |                             |   |  |
| ED04     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,233                         | 0,06                | 24,7                        | 0,053                                   | 0,004  |
|          | Juntas              | 3                       | 1,767                         | 0,25                | 14,2                        | 0,400                                   | 0,029  |
| ED05     | Mat. Cerâmico       | 4                       | 0,225                         | 0,05                | 22,2                        | 0,051                                   | 0,004  |
|          | Juntas              | 3                       | 0,267                         | 0,06                | 21,7                        | 0,060                                   | 0,004  |
| ED06     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,567                         | 0,06                | 10,2                        | 0,128                                   | 0,009  |
|          | Juntas              | 3                       | 1,200                         | 0,28                | 23,6                        | 0,272                                   | 0,020  |
| ED08     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,233                         | 0,06                | 24,7                        | 0,053                                   | 0,004  |
|          | Juntas              | 3                       | 0,700                         | 0,10                | 14,3                        | 0,159                                   | 0,012  |
| ED09     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,233                         | 0,06                | 24,7                        | 0,053                                   | 0,004  |
|          | Juntas              |                         |                               |                     |                             |   |  |

Fig. 4.16 – Síntese dos valores da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min em função do tipo de substrato dos paramentos tratados com hidrorrepelentes.

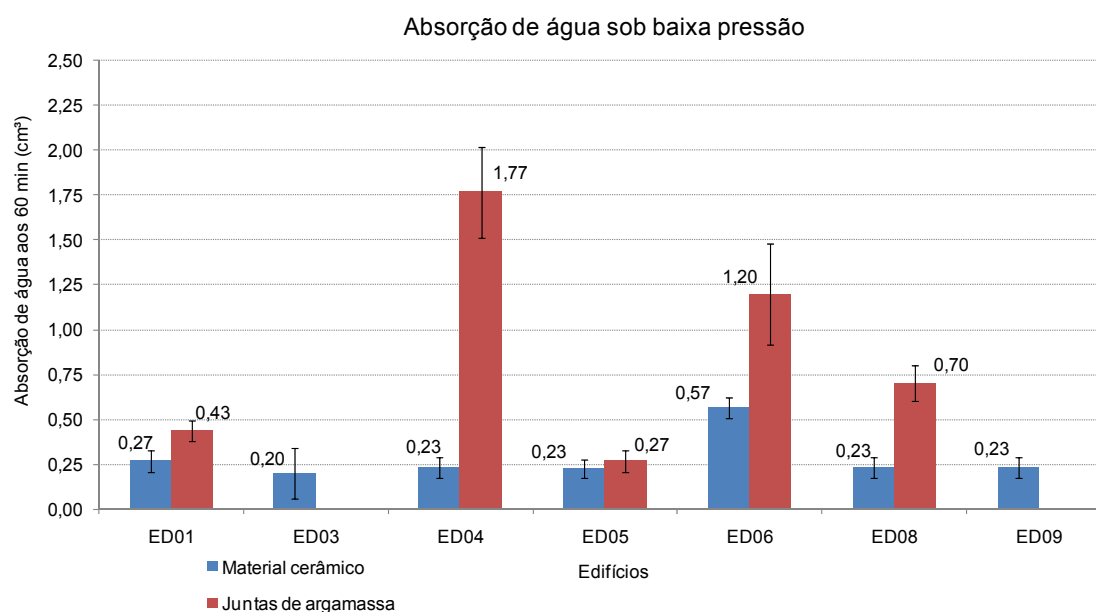


Fig. 4.17 – Gráfico com valores médios e desvios padrão dos resultados da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min nos substratos com tratamento hidrorrepelente dos edifícios objeto de estudo.

No gráfico da Fig. 4.18, apresenta-se a distribuição dos resultados obtidos do volume de água absorvida ao fim de 60 minutos de ensaio (média das medições), para cada um dos edifícios objeto de estudo, cujos paramentos em serviço foram tratados com produtos hidrorrepelentes de superfície e para as amostras de material cerâmico sem tratamento hidrorrepelente, correspondentes a esses edifícios.



Ao observar o gráfico concluiu-se que o volume de água absorvida é indubitavelmente superior nas amostras de material cerâmico (tijolo e plaquetas), ensaiadas sem qualquer tipo de tratamento superficial hidrorrepelente. Os paramentos ensaiados do conjunto de edifícios apresentam valores de volumes de absorção de água muito baixos ou praticamente nulos, enquanto as amostras de material cerâmico apresentam valores elevados de absorção para a generalidade dos edifícios. Note-se que o conjunto de edifícios (ED04, ED05, ED08 e ED09) apresentam valores de absorção muito semelhantes, nomeadamente os valores da absorção correspondentes às amostras ensaiadas são iguais, porque têm o mesmo elemento construtivo nas fachadas, ou seja, o mesmo tipo de tijolo cerâmico de face à vista.

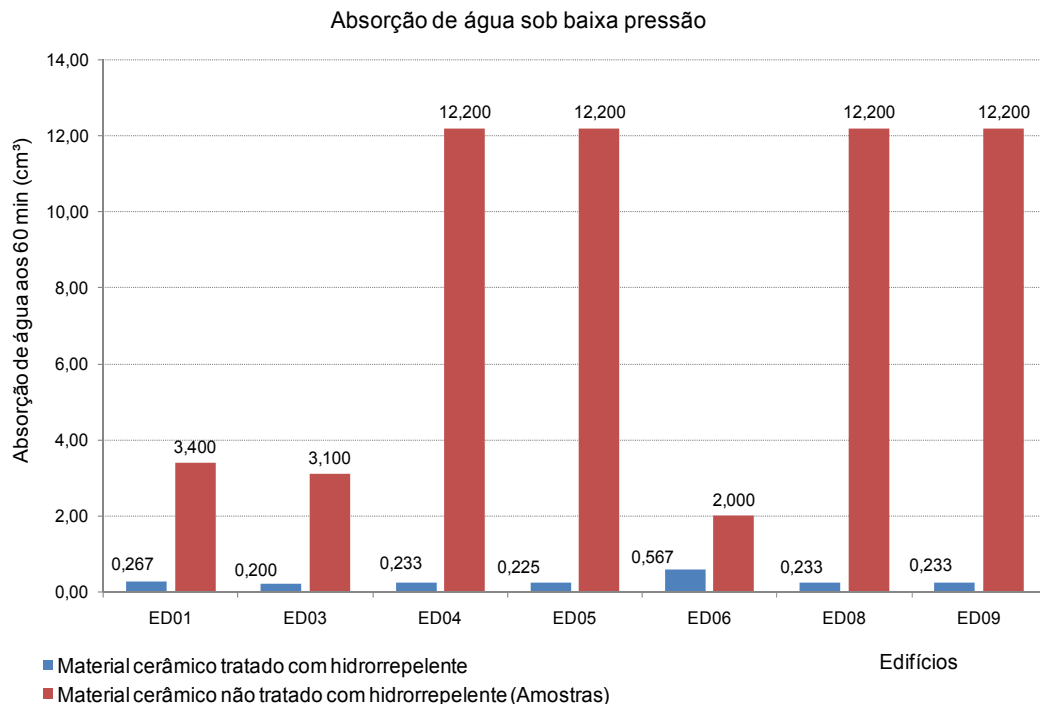


Fig. 4.18 – Gráfico comparativo dos resultados da absorção de água entre material cerâmico tratado e não tratado com hidrorrepelentes.

No gráfico da Fig. 4.19, apresenta-se graficamente os valores médios de absorção  $\pm$  desvios-padrão para os materiais cerâmicos e as juntas de argamassa em função da idade de aplicação da solução de tratamento hidrorrepelente.

Da análise destes resultados, verifica-se o seguinte:

Os materiais cerâmicos com tratamento hidrorrepelente dos paramentos com idades compreendidas entre 2 e 11 anos, apresentam valores de absorção de água entre  $0,20 \text{ cm}^3$  e  $0,27 \text{ cm}^3$ , ou seja, verifica-se para a generalidade dos paramentos ensaiados que o parâmetro absorção de água não se alterou significativamente durante este intervalo de tempo, com exceção do paramento do edifício cujo tratamento foi realizado à cerca de 15 anos, que apresenta um valor de absorção na ordem do dobro ( $0,57 \text{ cm}^3$ ), mas que continua a ser um valor baixo de absorção.

Os valores dos ensaios dos paramentos em serviço de absorção de água nas juntas de argamassa são superiores aos valores dos ensaios do material cerâmico, mas não apresentam conforme esperado uma tendência de crescimento linear ao longo do período de 15 anos.

Note-se que devido a resultados de ensaios inválidos ou a dispersões acentuadas de resultados de absorção de água nas juntas de argamassa dos paramentos ensaiados o tamanho da amostra é inferior à prevista, o que dificulta a análise da evolução do parâmetro absorção de água nas juntas de argamassa ao longo do período de 15 anos.

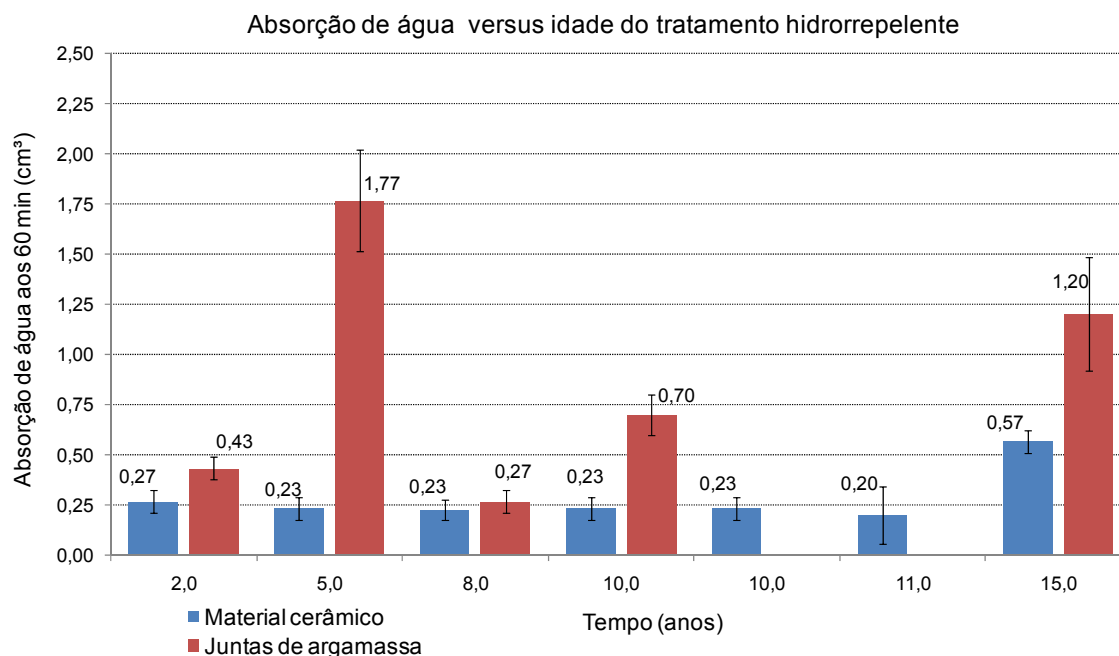


Fig. 4.19 – Gráfico com valores médios e desvios padrão dos resultados da absorção de água sob baixa pressão aos 60 min em função da idade do tratamento hidrorrepelente.

#### 4.5.5.3 Apresentação e análise dos resultados dos ensaios realizados em amostras de substratos sem tratamento hidrorrepelente

Na campanha experimental deste trabalho para atingir o objetivo de avaliar a eficácia de absorção de água dos paramentos dos edifícios objeto de estudo, foi necessário medir também absorções de água sob baixa pressão em paramentos não tratados, mas que tivessem o mesmo tipo de substratos (material cerâmico e juntas de argamassa) dos paramentos que foram tratados com produtos hidrorrepelentes.

Não sendo possível nesta campanha realizar para todos os edifícios, ensaios de absorção de água em paramentos não tratados com as mesmas características dos substratos dos paramentos tratados, optou-se no caso do material cerâmico pela utilização de amostras tijolo (sem tratamento), que foram fornecidas pelo empreiteiro que executou as obras de reabilitação e tratamento de proteção das fachadas.

Relativamente aos ensaios de absorção de água sob baixa pressão do substrato, juntas de argamassa não tratadas, foi mais difícil obter valores de absorção de água, dado que na generalidade dos edifícios selecionados não se encontrou paramentos sem tratamento hidrorrepelente que permitisse medir o incremento de hidrorrepelência. Assim, nos casos dos paramentos em que não foi possível obter estes valores de absorção, optou-se por considerar os mesmos valores médios de absorção do substrato (juntas de argamassa não tratadas) do edifício ED01 e ED03.

Sendo as fachadas dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09, caracterizadas com o mesmo tipo de tijolo cerâmico de face à vista, foram realizados ensaios de absorção com base nas amostras obtidas (Fig. 4.20).

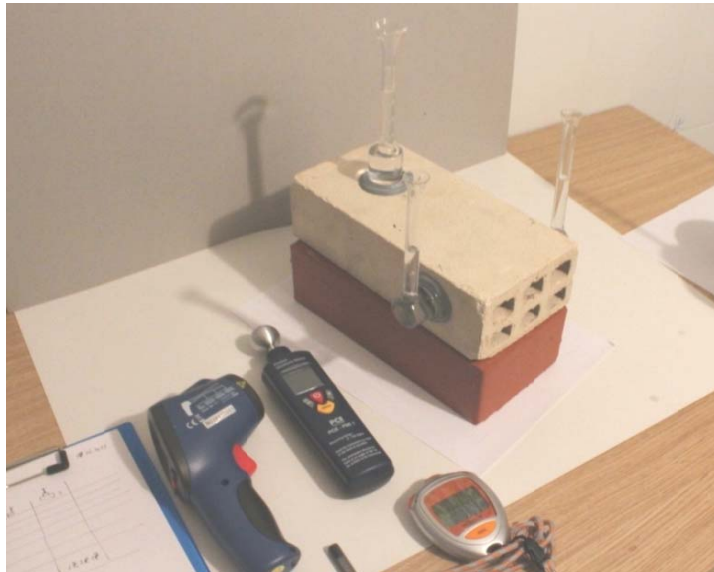


Fig. 4.20 – Ilustração dos ensaios de absorção de água (tubo de Karsten) às amostras de tijolo cerâmico não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09.

No quadro da Fig. 4.21, apresenta-se uma síntese dos valores dos ensaios de absorção de água acumulada sob baixa pressão levado a efeito durante 60 minutos (tubo de Karsten) nas amostras de tijolo cerâmico de face à vista correspondentes aos paramentos não tratados com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09.

Durante a realização do primeiro ensaio de absorção, verificou-se um abaixamento muito rápido no nível da água no tubo de Karsten, sem que existisse qualquer fuga de água pela vedação do tubo. Note-se que neste ensaio registou-se uma absorção de  $4 \text{ cm}^3$  aos 13 minutos. Assim, alterou-se procedimento de ensaio, fazendo-se a reposição do nível de água nas leituras efetuadas durante o período de 60 minutos, ou seja, de forma a garantir o nível de água constante em todo o ensaio e a obter a absorção acumulada de água no fim de cada leitura. Destaca-se o valor médio de absorção de água acumulada ao fim de 60 minutos, de  $12,23 \text{ cm}^3$ .

No que diz respeito à dispersão dos resultados obtidos das medições de absorção de água sob baixa pressão das amostras de tijolo não tratadas, obtiveram-se valores de dispersão muito baixos para as várias leituras de absorção de água efetuadas durante os 60 minutos, ou seja, registou-se uma reduzida variabilidade dos resultados de absorção de água para os três ensaios.

| Intervalo de tempo (min) | Ensaio 1     | Ensaio 2     |                        | Ensaio 3     |                        | Ensaio 4     |                        | Absorção Média (cm³) | Absorção Máxima (cm³) | Absorção Mínima (cm³) | Desvio Padrão (cm³) | Coeficiente de Variação (%) | Coef. Abs. Médio . (kg/m².vh) | "Velocidade" Absorção Média (cm³/min) |
|--------------------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
|                          | Volume (cm³) | Volume (cm³) | Volume Acumulado (cm³) | Volume (cm³) | Volume Acumulado (cm³) | Volume (cm³) | Volume Acumulado (cm³) |                      |                       |                       |                     |                             |                               |                                       |
| 5                        | 2,1          | 2,5          | 2,5                    | 2,4          | 2,4                    | 2,0          | 2,0                    | 2,30                 | 2,50                  | 2,00                  | 0,265               | 11,50                       | 1,80                          | 0,46                                  |
| 10                       | 3,2          | 1,3          | 3,8                    | 1,3          | 3,7                    | 1,4          | 3,4                    | 3,63                 | 3,80                  | 3,40                  | 0,208               | 5,73                        | 2,02                          | 0,36                                  |
| 15                       | (*)          | 1,5          | 5,3                    | 1,4          | 5,1                    | 1,5          | 4,9                    | 5,10                 | 5,30                  | 4,90                  | 0,200               | 3,92                        | 2,31                          | 0,34                                  |
| 20                       |              | 1,1          | 6,4                    | 1,2          | 6,3                    | 1,2          | 6,1                    | 6,27                 | 6,40                  | 6,10                  | 0,153               | 2,44                        | 2,46                          | 0,31                                  |
| 25                       |              | 1,2          | 7,6                    | 1,3          | 7,6                    | 1,3          | 7,4                    | 7,53                 | 7,60                  | 7,40                  | 0,115               | 1,53                        | 2,64                          | 0,30                                  |
| 30                       |              | 1,1          | 8,7                    | 1,2          | 8,8                    | 1,2          | 8,6                    | 8,70                 | 8,80                  | 8,60                  | 0,100               | 1,15                        | 2,79                          | 0,29                                  |
| 35                       |              | 1,2          | 9,9                    | 1,2          | 10,0                   | 1,2          | 9,8                    | 9,90                 | 10,00                 | 9,80                  | 0,100               | 1,01                        | 2,94                          | 0,28                                  |
| 40                       |              | 1,1          | 11,0                   | 1,2          | 11,2                   | 1,2          | 11,0                   | 11,07                | 11,20                 | 11,00                 | 0,115               | 1,04                        | 3,07                          | 0,28                                  |
| 60                       |              | 1,1          | 12,1                   | 1,2          | 12,4                   | 1,2          | 12,2                   | 12,23                | 12,40                 | 12,10                 | 0,153               | 1,25                        | 2,77                          | 0,20                                  |

(\*) Absorveu 4,0 ml aos 13 min.

Fig. 4.21 – Síntese dos valores de absorção de água acumulada sob baixa pressão em amostras de tijolo não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09.

No gráfico da Fig. 4.30, são também apresentados os valores médios das absorções em função do tempo, indicando-se a reta obtida por regressão linear. Esta correlação linear é muito forte ( $R^2 = 0,93$ ) e mostra que existe uma tendência linear de crescimento de absorção à medida que o tempo aumenta.

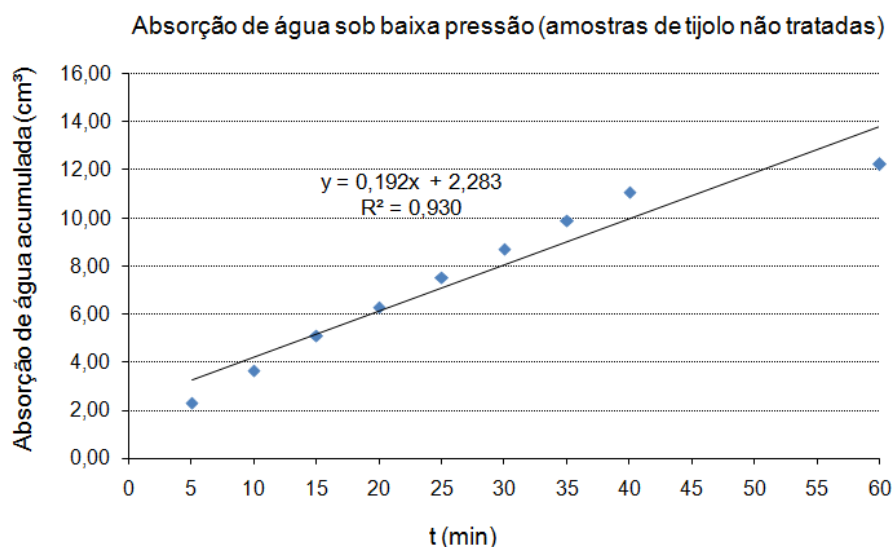


Fig. 4.22 – Resultados médios de absorção de água acumulada sob baixa pressão aos 60 min em amostras de tijolo não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09.

No paramento do edifício ED01, optou-se também por realizar os ensaios de absorção com os tubos de Karten sobre as amostras obtidas de plaquetas cerâmicas (Fig. 4.23).

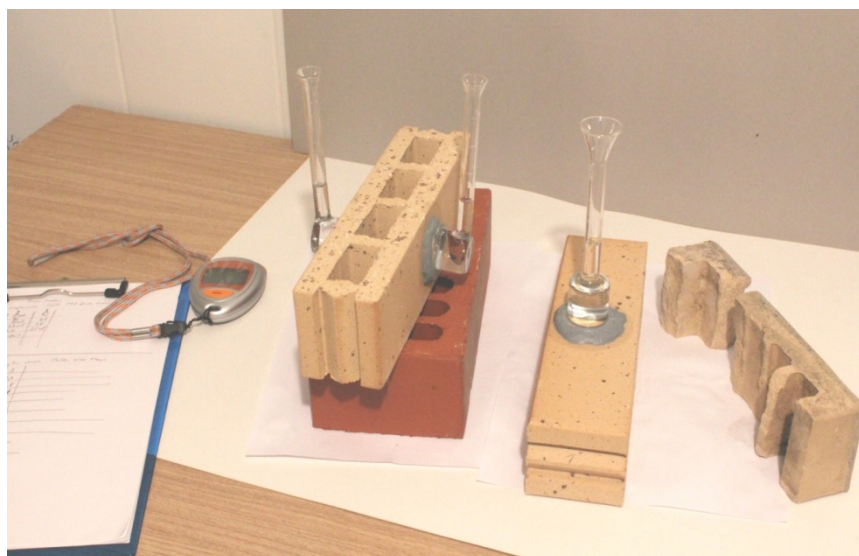


Fig. 4.23 – Ilustração dos ensaios de absorção de água (tubo de Karsten) às amostras de plaquetas cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED01.

No quadro da Fig. 4.24, apresenta-se uma síntese dos valores dos ensaios de absorção de água sob baixa pressão levado a efeito durante 60 minutos (tubo de Karsten) nas amostras de plaquetas cerâmicas correspondente ao paramento não tratado com hidrorrepelentes do edifício ED01.

Comparando o valor médio de absorção de água acumulada ao fim de 60 minutos, da amostra de plaquetas cerâmicas ( $3,4 \text{ cm}^3$ ) com o valor médio de absorção obtido na amostra de tijolo cerâmico sem tratamento hidrorrepelente ( $12,23 \text{ cm}^3$ ), verifica-se que o material das plaquetas cerâmicas é muito absorvente.

No que diz respeito à dispersão dos resultados obtidos das medições de absorção de água sob baixa pressão das amostras de tijolo não tratadas, obtiveram-se valores de dispersão muito baixos para as várias leituras de absorção de água efetuadas durante os 60 minutos, ou seja, registou-se uma reduzida variabilidade dos resultados de absorção de água para os três ensaios.

| t (min) | Absorção de água ( $\text{cm}^3$ ) |          |          | Absorção Média ( $\text{cm}^3$ ) | Absorção Máxima ( $\text{cm}^3$ ) | Absorção Mínima ( $\text{cm}^3$ ) | Desvio Padrão ( $\text{cm}^3$ ) | Coeficiente de Variação (%) | Coef. Abs. Médio ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{vh}$ ) | "Velocidade" Absorção Média ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ) |
|---------|------------------------------------|----------|----------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|--|
|         | Ensaio 1                           | Ensaio 2 | Ensaio 3 |                                  |                                   |                                   |                                 |                             |   |  |
| 5       | 0,3                                | 0,4      | 0,4      | 0,4                              | 0,4                               | 0,3                               | 0,1                             | 15,7                        | 0,08  | 0,073  |
| 10      | 0,6                                | 0,7      | 0,8      | 0,7                              | 0,8                               | 0,6                               | 0,1                             | 14,3                        | 0,16  | 0,070  |
| 15      | 0,8                                | 1,0      | 1,1      | 1,0                              | 1,1                               | 0,8                               | 0,2                             | 15,8                        | 0,22  | 0,064  |
| 20      | 1,1                                | 1,3      | 1,4      | 1,3                              | 1,4                               | 1,1                               | 0,2                             | 12,1                        | 0,29  | 0,063  |
| 25      | 1,3                                | 1,5      | 1,6      | 1,5                              | 1,6                               | 1,3                               | 0,2                             | 10,4                        | 0,33  | 0,059  |
| 30      | 1,6                                | 1,8      | 1,9      | 1,8                              | 1,9                               | 1,6                               | 0,2                             | 8,6                         | 0,40  | 0,059  |
| 35      | 1,8                                | 2,1      | 2,2      | 2,0                              | 2,2                               | 1,8                               | 0,2                             | 10,2                        | 0,46  | 0,058  |
| 40      | 2,0                                | 2,4      | 2,5      | 2,3                              | 2,5                               | 2,0                               | 0,3                             | 11,5                        | 0,52  | 0,058  |
| 45      |                                    |          |          |                                  |                                   |                                   |                                 |                             |   |  |
| 50      |                                    |          |          |                                  |                                   |                                   |                                 |                             |   |  |
| 55      |                                    |          |          |                                  |                                   |                                   |                                 |                             |   |  |
| 60      | 3,1                                | 3,5      | 3,6      | <b>3,4</b>                       | 3,6                               | 3,1                               | 0,3                             | 7,8                         | 0,77  | 0,06   |

Fig. 4.24 – Síntese dos valores de absorção de água sob baixa pressão em amostras de plaquetas cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED01.

No paramento do edifício ED03, não foi possível obter amostras sem tratamento hidrorrepelente em bom estado de conservação, no entanto estas permitiram leituras de absorção de água com os tubos de Karsten (Fig. 4.25).



Fig. 4.25 – Ilustração dos ensaios de absorção de água (tubo de Karsten) às amostras cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED03.

No quadro da Fig. 4.26, apresenta-se uma síntese dos valores dos ensaios de absorção de água sob baixa pressão levado a efeito durante 60 minutos (tubo de Karsten) nas amostras cerâmicas correspondente ao paramento não tratado com hidrorrepelentes do edifício ED03. Os valores médios de absorção aos 60 minutos foram determinados a partir das expressões das retas de regressão linear de cada um dos ensaios.

| t (min) | Absorção de água (cm³) |          |          | Valor Y da eq. da recta de regressão linear |              |              | Absorção Média (cm³) |
|---------|------------------------|----------|----------|---|--------------|--------------|----------------------|
|         | Ensaio 1               | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Ensaio 1 (Y)                                | Ensaio 2 (Y) | Ensaio 3 (Y) |                      |
| 5       | 0,9                    | 0,3      | 0,8      | 1,0   | 0,4          | 1,0          | 0,8                  |
| 10      | 1,2                    | 0,5      | 1,1      | 1,3   | 0,5          | 1,2          | 1,0                  |
| 15      | 1,6                    | 0,8      | 1,5      | 1,6   | 0,7          | 1,3          | 1,2                  |
| 20      | 2,0                    |          |          | 1,9   | 0,9          | 1,5          | 1,4                  |
| 27      |                        |          |          | 2,3   | 1,1          | 1,7          | 1,7                  |
| 30      | 2,7                    |          | 2,0      | 2,5   | 1,2          | 1,8          | 1,8                  |
| 38      |                        | 1,5      |          | 3,0   | 1,4          | 2,0          | 2,2                  |
| 54      | 4,0                    |          |          | 4,0   | 2,0          | 2,5          | 2,8                  |
| 60      |                        | 2,2      | 2,6      | 4,4   | 2,2          | 2,7          | 3,1                  |

Fig. 4.26 – Síntese dos valores de absorção de água sob baixa pressão em amostras de plaquetas cerâmicas não tratadas com hidrorrepelentes do edifício ED03.

No quadro da Fig. 4.27, apresenta-se uma síntese dos valores dos ensaios de absorção de água sob baixa pressão levado a efeito durante 60 minutos (tubo de Karsten) nas amostras cerâmicas correspondentes aos paramentos não tratados com hidrorrepelentes dos edifícios ED01 e ED03. Os valores médios de absorção aos 60 minutos foram determinados a partir das expressões das retas de regressão linear de cada um dos ensaios.



| t (min) | Absorção de água (cm³) |          |          | Valor Y da eq. da recta de regressão linear |              |              | Absorção Média (cm³) | Absorção Máxima (cm³) | Absorção Mínima (cm³) | Desvio Padrão (cm³) | Coeficiente de Variação (%) | Coef. Abs. Médio (kg/m².vh) | "Velocidade" Absorção Média (cm³/min) |
|---------|------------------------|----------|----------|---|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
|         | Ensaio 1               | Ensaio 2 | Ensaio 3 | Ensaio 1 (Y)                                | Ensaio 2 (Y) | Ensaio 3 (Y) |                      |                       |                       |                     |                             |                             |                                       |
| 5       | 1,0                    | 0,8      | 0,7      | 1,4   | 1,0          | 0,9          | 1,1                  | 1,4                   | 0,9                   | 0,3                 | 23,5                        | 0,24                        | 0,21                                  |
| 10      | 1,9                    | 1,5      | 1,4      | 2,0   | 1,6          | 1,3          | 1,6                  | 2,0                   | 1,3                   | 0,3                 | 19,9                        | 0,37                        | 0,16                                  |
| 15      | 2,9                    | 2,3      | 1,9      | 2,6   | 2,1          | 1,8          | <b>2,2</b>           | 2,6                   | 1,8                   | 0,4                 | 18,2                        | 0,49                        | 0,15                                  |
| 20      | 3,8                    | 3,0      | 2,3      | 3,2   | 2,7          | 2,3          | 2,7                  | 3,2                   | 2,3                   | 0,5                 | 17,2                        | 0,62                        | 0,14                                  |
| 30      | 4,0                    | 3,8      | 3,4      | 4,5   | 3,8          | 3,2          | 3,8                  | 4,5                   | 3,2                   | 0,6                 | 16,1                        | 0,87                        | 0,13                                  |
| 33      |                        | 4,0      |          | 4,8   | 4,2          | 3,5          | 4,2                  | 4,8                   | 3,5                   | 0,7                 | 15,9                        | 0,94                        | 0,13                                  |
| 40      |                        |          | 4,0      | 5,7   | 4,9          | 4,2          | 4,9                  | 5,7                   | 4,2                   | 0,8                 | 15,5                        | 1,12                        | 0,12                                  |
| 45      |                        |          |          | 6,3   | 5,5          | 4,6          | 5,5                  | 6,3                   | 4,6                   | 0,8                 | 15,4                        | 1,24                        | 0,12                                  |
| 60      |                        |          |          | 8,2   | 7,2          | 6,0          | <b>7,1</b>           | 8,2                   | 6,0                   | 1,1                 | 15,0                        | 1,62                        | 0,12                                  |

Fig. 4.27 – Síntese dos valores de absorção de água sob baixa pressão em juntas de argamassa não tratadas com hidrorrepelentes dos edifícios ED01 e ED03.

#### 4.5.6 ANÁLISE DA EFICÁCIA VERSUS DURABILIDADE

A ação dos tratamentos hidrorrepelentes aplicados nos paramentos dos edifícios objeto de estudo está representada no gráfico da Fig. 4.28. De acordo a definição já exposta no capítulo anterior (ver § 3.3), a eficácia de uma solução de tratamento hidrorrepelente de fachadas dos edifícios em estudo, deve ser entendida como o incremento de hidrorrepelência e redução de absorção de água resultantes da sua aplicação.

As alterações das características de absorção de água nas superfícies dos substratos de material cerâmico e nas juntas de argamassa, foram avaliadas pela técnica de ensaio de absorção de água sob baixa pressão, de acordo com o procedimento de ensaio já descrito no início deste capítulo.

Estas alterações de absorção de água são apresentadas com base nos valores do volume de absorção de água (cm³) registados em 15 e 60 minutos de ensaio.

Neste trabalho, considerou-se que o ensaio de absorção de água sob baixa pressão executado durante uma hora seria mais informativo, em vez do intervalo de tempo de 15 minutos preconizado pelo CSTC ou utilizado no procedimento de ensaio para a homologação de produtos hidrorrepelentes de superfície na determinação da sua eficácia.

Sendo a eficácia a razão percentual entre as diferenças da quantidade de água absorvida ao fim de um dado intervalo de tempo, antes e após tratamento, relativamente à absorção registada no mesmo intervalo de tempo antes do tratamento, verifica-se que os paramentos do conjunto de edifícios estudados atingiram valores elevados de eficácia.

Os resultados obtidos relativamente aos valores de eficácia determinados com base nos registos de absorções aos 60 minutos, são elevados para os dois tipos de substratos ensaiados. Na generalidade dos paramentos dos edifícios em análise, a eficácia (60 min) é superior nos substratos de material cerâmico. O conjunto de paramentos dos edifícios apresenta uma eficácia (60 min), cujos intervalos de valores estão compreendidos entre 71,7 a 98,2% para os materiais cerâmicos, e 75,1 a 96,2% para as juntas de argamassa. No entanto, o nível de confiança desta comparação não é satisfatório porque não foi possível obter dados relativamente às juntas de argamassa para todos os paramentos dos edifícios. Ao contrário do esperado, o paramento do edifício ED06, apresenta uma eficácia (60 min) das juntas de argamassa substancialmente maior que a eficácia do material cerâmico. Refere-se que as juntas

deste paramento foram caracterizadas com alguma degradação devida à ação da colonização biológica, podendo a absorção das juntas ser impedida pelo facto de estar associada à influência deste fator de degradação.

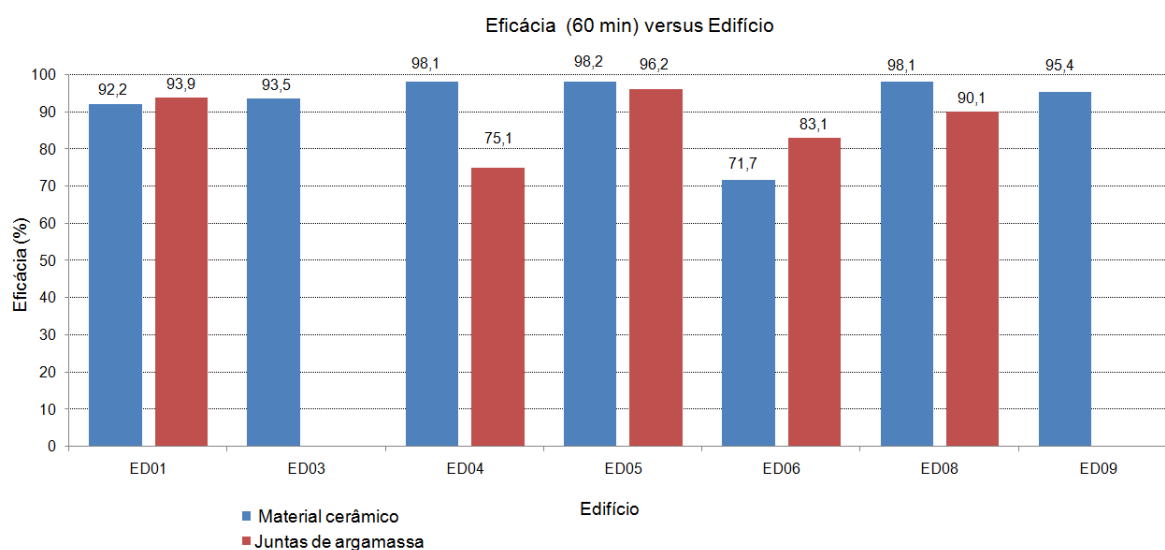


Fig. 4.28 – Distribuição dos valores médios de eficácia (60 min) dos edifícios com paramentos tratados com hidrorrepelentes.

Os resultados dos ensaios de absorção de água sob baixa pressão podem ser expressos através do conceito de eficácia ( $E_{Abs}$ ), em função do período de absorção a que se referem.

A eficácia de absorção é um indicador que avalia a capacidade que os produtos hidrorrepelentes têm em reduzir a absorção de água nos substratos tratados com este tipo de proteção profilática.

Este parâmetro será posteriormente utilizado para a avaliação da durabilidade em função da correlação eficácia de absorção / tempo em serviço do produto hidrorrepelente, nos paramentos dos edifícios objeto de estudo.

No quadro da Fig. 4.29, apresenta-se uma síntese dos valores da eficácia de absorção aos 15 e 60 minutos, relativos aos ensaios de medição de absorção de água sob baixa pressão efetuados nos períodos de tempo correspondentes.

A apresentação da eficácia de absorção dos produtos hidrorrepelentes aos 15 e 60 minutos, deve-se por um lado ao facto de se ter considerado na fase inicial deste trabalho que os ensaios de absorção de água sob baixa pressão executados num pequeno período de tempo (15 min) são pouco informativos, mas que permitirá a comparação com as medições efetuadas por outros autores, e por outro lado as medições efetuadas aos 60 minutos, permitirão verificar se este ensaio se revela mais sensível na distinção da ação dos produtos hidrorrepelentes nos vários substratos em análise, durante um período maior de tempo.



| Edifício | Localização do tubo | Nº ensaios por inspeção | Absorção Média (15 min) (cm³) | Coef. Abs. Médio (15 min.) (kg/[m².vh]) | Absorção Média (60 min) (cm³) | Coef. Abs. Médio (60 min.) (kg/[m².vh]) | Absorção Média Superfície não tratada (15 min) (cm³) | Absorção Média Superfície não tratada (60 min) (cm³) | Eficácia (Absorção 15 min) (%) | Eficácia (Absorção 60 min) (%) |
|----------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|---|--|--|--------------------------------|--------------------------------|
| ED01     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,100                         | 0,045                                   | 0,267                         | 0,060                                   | 1,000  | 3,400  | 90,0                           | 92,2                           |
|          | Juntas              | 3                       | 0,200                         | 0,091                                   | 0,433                         | 0,098                                   | 2,200  | 7,100  | 90,9                           | 93,9                           |
| ED03     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,100                         | 0,045                                   | 0,200                         | 0,045                                   | 1,200  | 3,100  | 91,7                           | 93,5                           |
|          | Juntas              | ---                     | ---                           | ---                                     | ---                           | ---                                     | ---  | ---  | ---                            | ---                            |
| ED04     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,067                         | 0,030                                   | 0,233                         | 0,053                                   | 5,100  | 12,230   | 98,7                           | 98,1                           |
|          | Juntas              | 3                       | 0,567                         | 0,257                                   | 1,767                         | 0,400                                   | 2,200  | 7,100  | 74,2                           | 75,1                           |
| ED05     | Mat. Cerâmico       | 4                       | 0,133                         | 0,060                                   | 0,225                         | 0,051                                   | 5,100  | 12,230   | 97,5                           | 98,2                           |
|          | Juntas              | 3                       | 0,200                         | 0,091                                   | 0,267                         | 0,060                                   | 2,200  | 7,100  | 90,9                           | 96,2                           |
| ED06     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,133                         | 0,060                                   | 0,567                         | 0,128                                   | 0,800  | 2,000  | 83,3                           | 71,7                           |
|          | Juntas              | 3                       | 0,550                         | 0,249                                   | 1,200                         | 0,272                                   | 2,200  | 7,100  | 75,0                           | 83,1                           |
| ED08     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,133                         | 0,060                                   | 0,233                         | 0,053                                   | 5,100  | 12,230   | 97,4                           | 98,1                           |
|          | Juntas              | 3                       | 0,300                         | 0,136                                   | 0,700                         | 0,159                                   | 2,200  | 7,100  | 86,4                           | 90,1                           |
| ED09     | Mat. Cerâmico       | 3                       | 0,100                         | 0,045                                   | 0,233                         | 0,053                                   | 5,100  | 12,230   | 98,0                           | 95,4                           |
|          | Juntas              | ---                     | ---                           | ---                                     | ---                           | ---                                     | ---  | ---  | ---                            | ---                            |

Fig. 4.29 – Síntese dos valores de eficácia de absorção aos 15 e 60 min dos tratamentos hidrorrepelentes ensaiados nos paramentos dos edifícios objeto de estudo.

Os gráficos das figuras (Fig. 4.30 e Fig. 4.31), proporcionam uma visão geral da eficácia aos 15 e 60 minutos, dos produtos hidrorrepelentes ensaiados nos paramentos objeto de estudo, bem como da sua evolução de desempenho ao longo de 15 anos.

Da análise conjunta destes gráficos, verifica-se o seguinte:

A generalidade dos paramentos atingiu níveis de eficácia aos 15 e 60 minutos muito elevados para os dois tipos de substratos

Da amostra considerada para o estudo dos paramentos com produtos hidrorrepelentes, verifica-se que os substratos (material cerâmico e juntas de argamassa), do paramento tratado à dois anos de idade, apresentam valores de eficácia muito similares (90 e 90,9%), respetivamente. Refere-se que a similaridade de resultados associada a valores elevados de eficácias iniciais (normalmente 100%) para os vários tipos de substratos é expectável no início dos tratamentos.

No paramento em que a aplicação do produto hidrorrepelente foi realizada à dois anos verifica-se que os valores de eficácia de absorção são elevados e similares nos dois tipos de substratos. No entanto, e apesar de ser a aplicação com menos idade, existem paramentos com aplicações de tratamentos hidrorrepelentes mais antigos (5, 10 e 11 anos) em que as eficácias são superiores.

Nesta análise considera-se importante lembrar que os paramentos ensaiados dos edifícios ED04, ED05, ED08 e ED09, têm o mesmo tipo de tijolo cerâmico de face à vista, no entanto, os tratamentos hidrorrepelentes sobre as superfícies desses substratos foram realizados com idades de aplicação diferentes, 5, 8, 10 e 10, respetivamente.

Relativamente à substância ativa ou tipo de produtos hidrorrepelentes aplicados nos paramentos dos edifícios ensaiados, e à sua influência nos resultados da eficácia de absorção refere-se que os produtos aplicados em todos os paramentos são à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa, com exceção do paramento do edifício ED09, em que o produto aplicado foi à base de silicones (siloxano reativo contendo solventes).

Apesar dos paramentos ensaiados pertencentes aos edifícios ED04, ED05 e ED08, terem o mesmo tipo de tijolo cerâmico de face à vista, o mesmo tipo de tratamento hidrorrepelente e idades de aplicação dos tratamentos compreendidas entre 5 e 10 anos, verifica-se que este conjunto de paramentos apresenta no substrato de material cerâmico, os valores mais elevados de eficácia aos (60 min) e muito

similares (98.7%, 97.5% e 97.4%), respetivamente. A partir desta constatação podemos concluir que a idade dos produtos em serviço não influenciou praticamente o nível de eficácia de absorção do material cerâmico destes paramentos.

As diferenças de eficácia de absorção dos tratamentos hidrorrepelentes observadas entre os dois tipos de substratos ensaiados (material cerâmico e juntas de argamassa), devem-se entre outros fatores de influência, à limitada quantidade e qualidade da amostra conseguida para o substrato “juntas de argamassa” de paramentos não tratados.

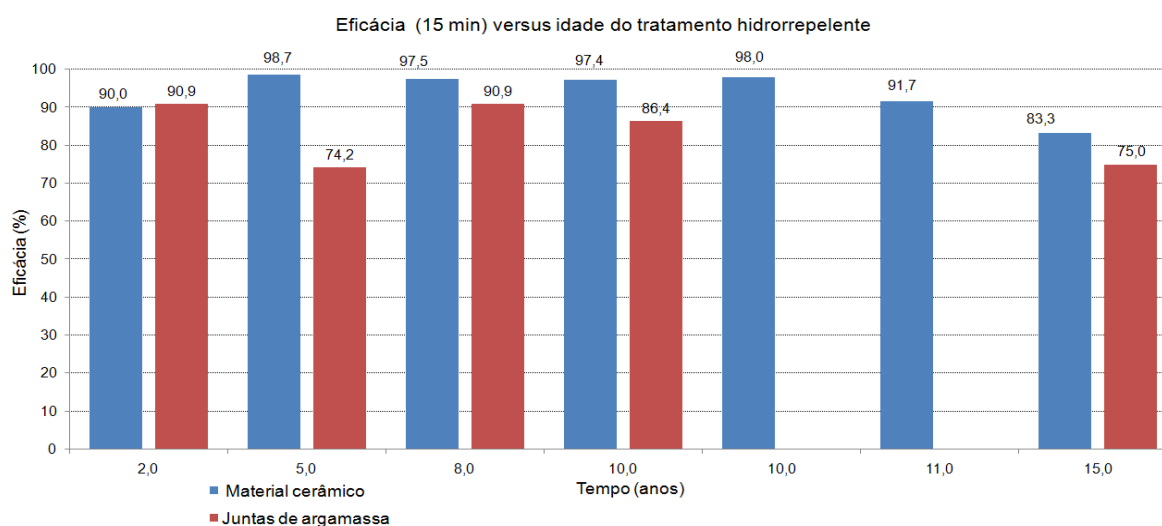


Fig. 4.30 – Distribuição dos valores médios de eficácia (15 min) dos edifícios com paramentos tratados com hidrorrepelentes.

Da análise dos gráficos que correlacionam a eficácia e a idade dos paramentos tratados, é possível encontrar vários paramentos em serviço com mais de 10 anos e com o mesmo tipo de alvenaria à vista, que apresentam níveis de eficácia superiores a 90%.

O paramento objeto de estudo com mais de 15 anos, apresenta um valor de eficácia de absorção superior a 70 %, nos dois tipos de substratos ensaiados.

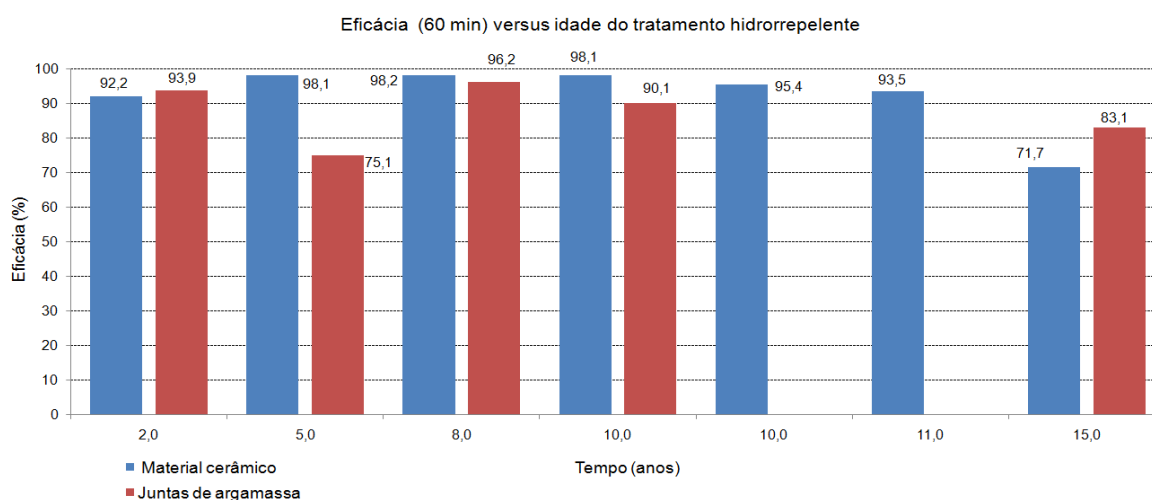


Fig. 4.31 – Distribuição dos valores médios de eficácia (60 min) dos edifícios com paramentos tratados com hidrorrepelentes.

O gráfico da Fig. 4.32, permite analisar rapidamente a sensibilidade dos valores de eficácia obtidos com base nas medidas dos valores médios de absorção efetuadas aos 15 min e aos 60 min, para os substratos (material cerâmico e juntas de argamassa). Neste gráfico são apresentadas as diferenças de eficácia obtidas para os dois períodos de tempo em análise. As barras do gráfico com sinal positivo significam que a eficácia (60 min) é superior à eficácia (15 min) e respetivamente inferior, para as barras do gráfico com sinal negativo.

Da análise do gráfico, destaca-se o edifício ED06, no qual se verifica que a eficácia avaliada aos 60 minutos é inferior 11,7% que a eficácia avaliada aos 15 minutos no substrato de material cerâmico e é superior 8,1% no substrato das juntas de argamassa. Entre os vários edifícios em que foram avaliadas as eficácias aos 15 e 60 minutos, este edifício foi o único que apresentou uma inversão acentuada dos valores de eficácia relativamente aos dois substratos em análise (material cerâmico e juntas de argamassa).

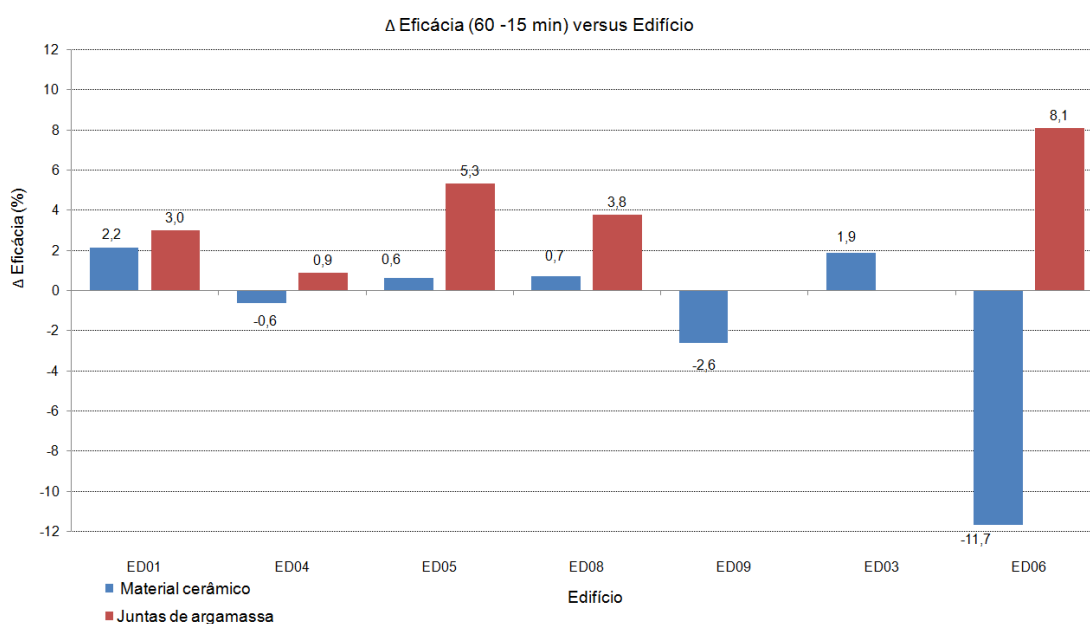


Fig. 4.32 – Distribuição das diferenças obtidas entre os valores médios de eficácia aos 15 min e aos 60 min.

Analisando a evolução da eficácia de absorção dos tratamentos hidrorrepelentes sobre o material cerâmico através do gráfico de dispersão (Fig. 4.33), que relaciona as variáveis (Eficácia versus Tempo), é possível observar que a reta de tendência desenhada a partir da distribuição dessas variáveis, indica uma correlação linear negativa muito fraca. Esta correlação mostra que existe uma ligeira tendência de diminuição da eficácia à medida que aumenta a idade de aplicação dos tratamentos hidrorrepelentes.

De facto, verificou-se uma grande dispersão de resultados ( $R^2$  igual a 0,339), verificando-se que existem casos em que, paramentos com praticamente a mesma eficácia apresentam uma grande amplitude de valores de idade de tratamento hidrorrepelente (p.e. o ED01 e ED03 têm praticamente a mesma eficácia de absorção mas existe uma diferença de 9 anos entre as idades de aplicação dos tratamentos). O quadrado do coeficiente de correlação ( $R^2$ ), significa que apenas cerca de 33,9% da “Eficácia” pode ser descrita ou explicada pela variável “Tempo (anos)” e vice-versa, o que traduz uma grande variabilidade das situações registadas, devendo-se os restantes 66,1% a fatores externos.

Impõe-se assim perceber o motivo pelo qual se obteve uma dispersão de resultados tão acentuada, referindo-se no entanto que o exemplo de dispersão atrás referido é relativo à análise feita ao material

cerâmico, mas o tipo de tijolo utilizado em cada um dos edifícios tem características físicas e químicas diferentes. Por outro lado, edifícios (ED04, ED05 e ED08), com o mesmo tipo de tijolo, com o mesmo tipo de tratamento hidrorrepelente, mas com idades de aplicação compreendidas entre 5 e 10 anos apresentam ao contrário do esperado valores elevados de eficácia e similares.

Analisando as restantes condições de influência, nomeadamente, as condições de exposição das fachadas dos edifícios, não foi possível encontrar explicações que justifique este tipo de dispersão de eficácias de absorção.

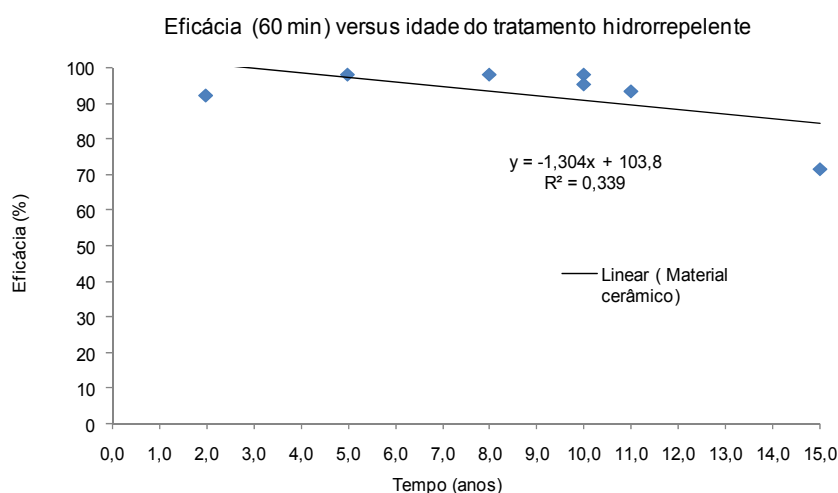


Fig. 4.33 – Evolução da eficácia de absorção dos tratamentos hidrorrepelentes sobre o material cerâmico.

# 5

## CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES E LIMITAÇÕES

O interesse pela temática ligada à durabilidade dos materiais e de sistemas construtivos tem-se vindo a alargar progressivamente dentro do meio académico, nomeadamente na FEUP. A realização de várias teses de mestrado sobre este tema neste estabelecimento de ensino universitário é prova disso.

O presente trabalho insere-se no âmbito da vida útil das construções e o seu desenvolvimento incidiu sobre o estudo da durabilidade e eficácia da ação dos produtos hidrorrepelentes aplicados em substratos de fachadas de alvenaria de tijolo cerâmico à vista e de plaquetas cerâmicas. A eficácia de um tratamento hidrorrepelente é entendida como o incremento de hidrorrepelência e redução de absorção de água resultante da sua aplicação. A eficácia foi avaliada através de ensaios de determinação do tempo de absorção de água sob baixa pressão pelo método do tubo de Karsten com a duração de 1 hora.

Para além da abordagem teórica efetuada no capítulo 3, sobre a previsão da vida útil com a utilização do método fatorial proposto pela norma ISO 15686-1, para estimar a vida útil de tratamentos hidrorrepelentes aplicados em fachadas de edifícios recentes em serviço com diferentes idades de construção e de aplicação do tratamento, o presente trabalho focou-se sobretudo na campanha experimental caracterizada pela inspeção visual e pelo uso de métodos não destrutivos, com destaque para o método de absorção de água líquida sob baixa pressão (tubo de Karsten). Neste trabalho, os parâmetros absorção de água líquida, o respetivo coeficiente de absorção e a eficácia de absorção, são os principais indicadores do comportamento em serviço dos tratamentos hidrorrepelentes em análise face à penetração da água líquida.

Uma das maiores dificuldades na campanha experimental foi não encontrar para todos os paramentos tratados com hidrorrepelentes, paramentos homólogos não tratados de forma a permitir a avaliação do seu comportamento em serviço, assim como determinar a eficácia dos tratamentos. No caso dos substratos de material cerâmico, esta dificuldade foi menor porque foi possível efetuar ensaios em paramentos não tratados com plaquetas cerâmicas e obter amostras de tijolo cerâmico iguais ao material original. Relativamente às juntas de argamassa, foi necessário presumir valores de absorção para a generalidade das juntas de argamassa dos paramentos não tratados, com base em valores médios de dois edifícios. Do conjunto de sete edifícios, não foi possível determinar a eficácia deste tipo de substrato para dois edifícios.

Para além do que foi referido ao longo da análise dos resultados da campanha experimental, é importante ter em consideração relativamente ao estudo efetuado para a durabilidade e eficácia da ação dos produtos hidrorrepelentes, os seguintes pontos:

Os produtos hidrorrepelentes não são uma solução de reparação de fachadas que resolve os erros de projeto ou uma construção deficiente, assim como as causas das patologias associadas à presença de humidade e infiltração de água pelas alvenarias de cerâmica à vista (tijolo e plaquetas).

Definitivamente, estes produtos não substituem uma adequada reparação dos paramentos em que a água penetra através das fissuras na alvenaria. Antes de se proceder à aplicação de tratamento hidrorrepelente de uma fachada, esse paramento exterior deve ser inspecionado cuidadosamente e reparado;

Após a intervenção numa fachada para correção das anomalias relacionadas com a infiltração de água é recomendável esperar algum tempo (vários meses) para se concluir se são necessárias medidas corretivas e tomar uma decisão sobre a necessidade de aplicação ou não de um tratamento hidrorrepelente. Normalmente, a decisão torna-se mais fácil quando se verifica que os substratos dos paramentos apresentam uma absorção relativamente elevada;

Relativamente à aparência dos produtos hidrorrepelentes, verificou-se in-situ que alguns paramentos de tijolo apresentavam uma aparência de cor alterada (cor amarelada), o que reforça a importância de selecionar corretamente o produto e efetuar testes prévios;

As propriedades mais críticas dos produtos hidrorrepelentes são: a absorção de água, a permeabilidade ao vapor de água, a hidrorrepelência, a durabilidade e a resistência aos agentes biológicos. Considera-se que a vida útil dos tratamentos hidrorrepelentes é o critério mais importante na seleção destes produtos;

Quando a for considerada a hipótese da aplicação de hidrorrepelentes nestes elementos construtivos, deve-se ponderar os seus benefícios, assim como as desvantagens. A seleção do produto deve ter em conta a exigência de do seu desempenho em serviço (obras de referência) e o tempo de vida útil expectável, em condições de exposição semelhantes e para o mesmo tipo de substratos (tijolo e argamassa). Na seleção de um protetor hidrorrepelente deve-se também considerar o seu impacto ambiental;

As fachadas dos edifícios objeto de estudo são construídas com paredes de alvenaria dupla do tipo com caixa de ar. Estas paredes quando são projetadas permitem a penetração da água através do paramento exterior de tijolo sem causar qualquer prejuízo nos paramentos interiores, e não precisam de nenhuma proteção hidrorrepelente. Na campanha experimental do presente trabalho, verificou-se que todos os edifícios recentes objeto de estudo não tinham sido projetados ou executados com um correto sistema de drenagem para evacuar a água que penetra nas alvenarias de parede dupla com caixa de ar. No entanto, na generalidade dos edifícios foram executados posteriormente respiradouros nas fachadas para promoverem a secagem da humidade na alvenaria de tijolo, tendo sido esses trabalhos realizados durante a fase de aplicação do tratamento de proteção hidrorrepelente;

Relativamente à técnica de medição de humidade superficial dos substratos objeto de estudo refere-se o seguinte:

A medição da humidade superficial dos substratos em análise com recurso ao humidímetro portátil mostrou-se uma técnica de grande utilidade e facilidade de aplicação, permitindo a criação de perfis de humidade para a avaliação dos paramentos em estudo, no entanto, não se estabeleceu correlações de resultados com a técnica de absorção de água, porque na realidade são duas técnicas distintas. Embora, ambas as técnicas analisem a presença da água nas fachadas, na prática, pode dar-se o caso de um determinado substrato ter uma elevada permeabilidade à água líquida e no entanto não ter necessariamente um elevado valor de humidade superficial;

Os ensaios realizados com o humidímetro permitem concluir que existe uma elevada sensibilidade da técnica à presença de anomalias nos substratos. Zonas com anomalias de fissuração evidenciaram valores de humidade superficial muito superiores às zonas sem anomalias. Assim como, a comparação entre dois paramentos contíguos (sendo um deles sem tratamento), mostrou que os valores de humidade superficial eram bastante superiores no paramento sem tratamento. A generalidade dos substratos relativos às juntas de argamassa, evidenciou valores de humidade mais elevados do que os substratos de material cerâmico. O humidímetro revelou-se uma técnica com elevado potencial para a realização de estudos de perfis de humidade e da sua correlação com as patologias relacionadas com fissuração, nomeadamente a microfissuração que nem sempre é visível à superfície. Esta técnica deverá preceder a técnica de absorção de água sob baixa pressão na deteção de microfissuração no substrato a ensaiar, permitindo colocar o tubo de Karsten numa zona isenta de anomalias.

A eficácia e durabilidade dos tratamentos hidrorrepelentes estudados foram o ponto central da análise e discussão neste trabalho, pelo que são destacadas algumas das principais conclusões:

Se por um lado é expectável que o nível de eficácia inicial de um produto hidrorrepelente seja muito elevado ou até mesmo 100%, por outro lado não era esperado para os vários paramentos em serviço com mais de 10 anos, e com o mesmo tipo de alvenaria à vista, níveis de eficácia na casa dos 90%;

Como exemplo de uma boa referência de durabilidade dos produtos hidrorrepelentes, destaca-se o valor de eficácia de absorção aos 60 minutos superior a 70 %, de um paramento objeto de estudo com mais de 15 anos;

Embora os resultados desta campanha não permitam determinar com uma pequena margem de erro o tempo de vida útil dos produtos hidrorrepelentes, a eficácia atingida pelos tratamentos hidrorrepelentes ao longo de um intervalo de 15 anos, permite validar o bom desempenho dos tratamentos hidrorrepelentes aplicados nos paramentos em serviço, durante esse período de avaliação;

Considerando neste trabalho que a avaliação da durabilidade dos tratamentos hidrorrepelentes está diretamente relacionada com a capacidade destes em reduzir a absorção de água líquida, será correto afirmar que as medições efetuadas de absorção de água sob baixa pressão durante a campanha experimental aos paramentos tratados testemunham uma boa durabilidade para todos os tratamentos seguidos;

A generalidade dos substratos de material cerâmico, evidenciou uma eficácia superior relativamente aos substratos das juntas de argamassa;

Relativamente à evolução da eficácia ao longo do período analisado, verifica-se que existe alguma perda de eficácia dos tratamentos em função do aumento da idade de aplicação do tratamento, mas a fraca correlação existente entre as variáveis (eficácia versus tempo) inviabiliza o estabelecimento de uma curva de degradação que possibilite a determinação da vida útil em função do nível mínimo de eficácia requerido em serviço;

Os resultados de eficácia de absorção, confirmam também que os tratamentos efetuados segundo as regras da arte e com o contributo de produtos de elevada eficácia, podem proporcionar um excelente desempenho durante pelo menos “uma boa dúzia de anos”, ou até muito mais tempo, verificando-se que esta durabilidade implícita, supera o valor de 8,53 anos da vida útil estimada para o cenário definido no capítulo 3, deste trabalho (ver § 3.7.3);

No presente trabalho, a análise da eficácia de absorção (15 min) revelou-se suficientemente informativa e tem a grande vantagem de acelerar todo o processo de medições de absorção de água

sob baixa pressão. No entanto, considera-se que a análise da eficácia de absorção (60 min) tem um potencial informativo superior e permitirá sempre uma análise mais aprofundada, sobretudo em substratos menos absorventes;

Durante a realização da técnica de absorção sob baixa pressão de água nas amostras de tijolo não tratado, verificou-se o aparecimento de humidade à superfície do substrato na periferia da zona de selagem, mas sem existir má fixação do tubo de Karsten. Presume-se que este fenómeno seja devido ao facto de existir comunicação entre poros superficiais permitindo que a água absorvida possa aparecer à superfície do substrato por capilaridade;

Para testar a influência da fissuração na técnica de ensaio de absorção de água sob baixa tensão foram efetuados alguns ensaios em substratos não tratados (cerâmicos e juntas de argamassa) com fissuras (espessura menor que um cabelo) e verificou-se uma absorção muito rápida (abaixamento muito rápido do nível de água no tubo de Karsten);

Refere-se ainda que os edifícios selecionados para este estudo foram localizados em áreas urbanas, com exposição considerada moderada para a generalidade das fachadas estudadas, no entanto, verificou-se in-situ que a eficácia dos produtos estudados em termos de manutenção do aspeto das fachadas é questionável, particularmente, para os paramentos que estão sujeitos à proximidade da arborização de grande porte e à colonização biológica;

Na atualidade, a decisão relativamente à aplicação e correta utilização dos tratamentos hidrorrepelentes não é facilmente tomada porque o conhecimento sobre a sua ação e o desempenho no tempo são, de um modo geral, pouco conhecidos, assim como, é muito importante salientar que antes de se intervir numa fachada com patologias frequentemente relacionadas com a infiltração de água, seja efetuado um correto diagnóstico que permita identificar e reparar as causas das anomalias.

Os tratamentos hidrorrepelentes aplicados em superfícies de fachadas devem ser encarados como uma medida profilática ou método de proteção, cujo objetivo principal é a prevenção da degradação e a limitação da influência dos agentes que a provocam;

Apesar da versatilidade e dos vários benefícios referidos para as superfícies das fachadas tratadas com repelentes de água líquida, torna-se óbvio que estes devem ser considerados como uma melhoria ou uma e não como a solução milagrosa que evita a entrada da água e todos os problemas nas fachadas e muito menos ser uma desculpa para usar materiais inadequados ou insustentáveis;

O objetivo principal da campanha experimental realizada foi inspecionar visualmente paramentos de fachadas com produtos hidrorrepelentes de superfície para recolher informação relativa à degradação destes e efetuar ensaios in-situ com o recurso de técnicas não destrutivas, respeitando o mais possível as condições reais de serviço. O âmbito do trabalho de campo era assim avaliar a durabilidade desses produtos não tendo sido avaliadas as condições de execução dos tratamentos e as próprias características/propriedades dos substratos, nomeadamente os tijolos cerâmicos, as plaquetas cerâmicas e as argamassas das juntas e dos próprios produtos hidrorrepelentes. Note-se que a recolha deste tipo de informação não é fácil de obter, verificando-se frequentemente que existe uma omissão destas características nos projetos entregues às entidades licenciadoras e uma escassa informação nas fichas técnicas dos produtos comercializados;



Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram concluir que não foi possível determinar com precisão a durabilidade dos tratamentos hidrorrepelentes de superfície em paramentos de fachadas de edifícios recentes com alvenaria de tijolo cerâmico de face à vista ou plaquetas cerâmicas, através apenas de uma relação entre eficácia e a idade de aplicação do tratamento, mas perante o estudo efetuado de durabilidade e eficácia, considera-se que estes têm um efeito favorável no comportamento das fachadas face à ação da água da chuva, efeito esse que pode perdurar muitos anos, e que foi observado em edifícios cuja intervenção ocorreu à mais de 15 anos.

## **5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

No seguimento dos resultados obtidos durante a campanha experimental realizada no presente trabalho, sugere-se a continuidade deste estudo, nomeadamente o aprofundamento de alguns aspetos que influenciam a vida útil dos tratamentos hidrorrepelentes, assim como a correta seleção de um hidrorrepelente e as razões da sua utilização.

Objetivamente, e no sentido de contribuir para um melhor conhecimento do desempenho em serviço dos tratamentos hidrorrepelentes em alvenarias de cerâmica à vista (porosa), destacam-se os seguintes pontos para desenvolvimentos futuros:

- Propor uma metodologia para a tomada de decisão relativamente às razões da sua aplicação nas fachadas em serviço ou fachadas de construção nova e ainda à necessidade de reaplicação dos produtos;
- Propor uma metodologia para a correta seleção e aplicação do produto hidrorrepelente;
- Avaliar a eficácia dos produtos hidrorrepelentes em função da “quantidade ideal” a aplicar;
- Propor critérios para a avaliação do desempenho de tratamentos hidrorrepelentes com base no estudo de um maior número de fachadas em serviço.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Henriques, F. - *A ação da humidade em paredes. Formas de manifestação, critérios de quantificação e análise de soluções de reparação*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 1992.
- [2] Alves, S., Sousa, H. - *Paredes exteriores de edifícios em pano simples*. Lidel, Lisboa, 2003.
- [3] LUCAS, José A. Carvalho - *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. Lisboa, ITE 25, LNEC, 1990.
- [4] LNEC - Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1996.
- [5] Paiva, J. Vasconcelos, Carvalho, E. Cansado, Silva, A. Cavaleiro – Patologia da construção. In *1º Encontro sobre a conservação e reabilitação de edifícios de habitação*, Volume 1, Lisboa, LNEC, 2ª edição, 2003.
- [6] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC), - *L'humidité dans les constructions*. CSTC, NIT 210, Bruxelles, 1998.
- [7] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC), - *Hydrofugation de surface*. CSTC, NIT 224, Bruxelles, 2002.
- [8] Dias, José Luís Miranda. - *Fendilhação de paredes de alvenaria da fachada de edifícios associada à ocorrência de infiltrações de água da chuva*. 3.º ENCORE, LNEC, Lisboa, 2003.
- [9] Henriques, F.M.A. - *Quantificação da chuva incidente em paredes*. INCE5, LNEC, Lisboa, 1993.
- [10] Freitas, V.; Torres, M.; Guimarães, A. - *Humidade Ascensional*. FEUP edições, 2008.
- [11] Brito, V. - *Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), 2009.
- [12] Couto, S. - *Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos. Influência na secagem*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2010.
- [13] Domaslawski, W. - *La conservation préventive de la pierre*. Unesco, 1982.
- [14] Pinto, A. - *Conservação de pedras graníticas – Estudo da ação de hidrófugos*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, ITG22, LNEC 1997.
- [15] Charola, A. Elena, - *Water-Repellent Treatments for Building Stones: A Practical Overview*. APT Bulletin, Vol. 26, No. 2/3, pp. 10-17 Published by: Association for Preservation Technology International (APT), 1995.
- [16] QUI601. – *Efeito Lótus*. Relatório de Mestrado integrado em engenharia química, FEUP, Porto, 2010.
- [17] Stark, J., Dimmig, A., Bricks - waterproofed and consolidated. In *Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents*, pp. 24-1/24-9, Delft University of Technology, The Netherlands, Faculty of Architecture, 1995.

- [18] A. Loek J.A.R. van der Klugt and Jaap A.G. Koek, The effective use of water-repellents. In *Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents*, pp. 19-1/19-4, Delft University of Technology, The Netherlands, Faculty of Architecture.
- [19] Flores-Colen, I. - *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na ótica da manutenção predictiva*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, volume 1, 487p, Lisboa, junho 2009.
- [20] McGettigan, E. - *Factors Affecting the Selection of Water-Repellent Treatments*. APT Bulletin, Vol. 26, No. 4, pp. 22-26 Published by: Association for Preservation Technology International (APT), 1995.
- [21] Kubal, Michael T. - *Construction Waterproofing Handbook*. McGraw-Hill, 2008.
- [22] Wendler, E., Elena Charola, A. - Water and its Interaction with Porous Inorganic Building Materials. In *Hydrophobe V-Water Repellent Treatment of Building Materials*, Fifth International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Royal Institute for Cultural Heritage (KIK-IRPA), Brussels, Belgium, Aedificatio Publishers, 2008.
- [23] Wendler, E., E. von Plehwe-Leisen, A. - Water Repellent of Porous Materials. In *Hydrophobe V-Water Repellent Treatment of Building Materials*, Fifth International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Royal Institute for Cultural Heritage (KIK-IRPA), Brussels, Belgium, Aedificatio Publishers, 2008.
- [24] Roos, M., König, F., Stadtmüller, S., Weyershausen, B. - Evolution of Silicone Based Water Repellents for Modern Building Protection. In *Hydrophobe V-Water Repellent Treatment of Building Materials*, Fifth International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Royal Institute for Cultural Heritage (KIK-IRPA), Brussels, Belgium, Aedificatio Publishers, 2008.
- [25] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) - Buildings and constructed assets. Service life planning – Part 1: General principles. Switzerland, 2011. ISO 15686-1.
- [26] Diretiva Europeia 89/106/CE do Conselho de 21 de dezembro de 1988 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-Membros no que respeita aos produtos de construção, publicada no Jornal Oficial n.º L 040 de 11/02/1989 e posteriores alterações. Diretiva dos Produtos da Construção.
- [27] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA) - Assumption of working life of construction products in guideline for European Technical Approvals, European Technical Approvals and Harmonized Standards. December 1999. Guidance Document 002.
- [28] Pinto, A.P.F., Rodrigues, D. - *Hidrofugação da pedra, recomendações para a otimização da relação eficácia/custo*. 3º Encore, pp. 475-482, LNEC, Lisboa, 2003.
- [29] Gaspar, P. - *Metodologia de cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico (IST), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, dezembro de 2002.
- [30] Quintela, M. - *Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), março 2006.
- [31] Sá, A. - *Durabilidade de cimentos cola*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), janeiro 2005.

- [32] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) - Buildings and constructed assets. Service life planning – Part 2: Service life prediction procedures. Switzerland, 2001. ISO 15686-2.
- [33] LNEC - Revestimento de paredes, Ensaio de absorção de água sob baixa pressão, FE Pa 39.1, LNEC, Lisboa, junho de 2002.
- [34] Coleman, Graham Roy - Humidímetros, elétricos ou “carbide”? 1999 (Tradução por António de Borja Araújo, Eng.º civil, I.S.T., 5 de maio de 2003).
- [35] R.P.J. van, L.J.A.R. van der Klugt, E. De Witte, H. De Clerq, L. Binda, G. Baronio, - Test methods for the evaluation of the in situ performance of water-repellent treatments. In *Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents*, pp. 14-1/14-16, Delft University of Technology, The Netherlands, Faculty of Architecture.
- [36] CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC), - *Les composes du silicium - Hydrofuges de masse et de surface. Consolidants. Mastics*. CSTC, NIT 138, Bruxelles, 1981.
- [37] Ing. J. de Vries, Hydrophobic treatment of concrete. In *Surface Treatment of Building Materials with Water Repellent Agents*, pp. 30-1/30-15, Delft University of Technology, The Netherlands, Faculty of Architecture.
- [38] [http://www.sto-sea.com/93147\\_EN-Brochures-Lotus\\_Effect\\_Facade\\_coatings.pdf](http://www.sto-sea.com/93147_EN-Brochures-Lotus_Effect_Facade_coatings.pdf). 15.06.2013.
- [39] [http://www.energycoatings.org.uk/uploads/2012/ecocoat\\_silicone\\_facade\\_leaflet.pdf](http://www.energycoatings.org.uk/uploads/2012/ecocoat_silicone_facade_leaflet.pdf). 15.06.2013.
- [40] Maranhão, F. , Kai Loh, K. - *O uso de hidrofugantes em materiais de construção porosos*. Revista Técnica, Edição nº 155, fevereiro de 2010, pp. 50-54.
- [41] Moreau, C., Leroux, L., Vergés-Belmin, V., Fronteau, G., barbin, V. - Which Factors Most the Durability of Water Repellent Treatments: Stone Properties, Climate or Atmospheric Pollution?. In *Hydrophobe V-Water Repellent Treatment of Building Materials*, Fifth International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Royal Institute for Cultural Heritage (KIK-IRPA), Brussels, Belgium, Aedificatio Publishers, 2008









# ANEXOS

**Anexo A: Ficha de inspeção visual**

**Anexo B: Ficha de ensaios in-situ (registo de dados)**



## Anexo A: Fichas de inspeção visual



# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-01

Data de inspecção 12-05-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome Vila Mar

1.2 - Localização Avenida Major Botelho Moniz - Miramar -V. N. Gaia

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário

Empreiteiro X

Condómino X

Outro

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habitação X

Serviços

Outra

2.2 - Idade da construção (anos) 12

2.3 - Nº pisos elevados 3

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado X

Outra

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana

Rural

Industrial

Marítima X

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km X

1 a 5 Km

> 5 Km

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário PI

Ferroviário PI

Aéreo

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código F01S

3.2 - Área:

Altura (m) 9

Largura (m) 12

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado X

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista

Outro/Obs.

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar X

Sem isolante térmico

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Plaquetas cerâmicas (Forras), Dim. 240 x 70 x 20 mm, cor bege

Largura juntas (mm) 10 / 12

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa.

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir)

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água X

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular X

Irregular

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida

Média X

Elevada

3.9 - Orientação:

Norte

Sul X

Oeste

Este

Outra

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos NA

Árvores NA

Vegetação rasteira NA

Outra

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano 2011

Descrição Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água

FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)

10:55

4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)

21,5

4.3 - Humidade relativa (%)

65

4.4 - Condições atmosféricas:

Sol

Sol incidente

X

Nublado

Chuva

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção

0

Data da última precipitação

5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada

Zonas exteriores da fachada

| Ze1 | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial

Código

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Vertical             | Fe1 |  |  |  |  |  |  |
| Horizontal           | Fe2 |  |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada | Fe3 |  |  |  |  |  |  |

5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial

|                  |     |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais | Fe4 |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|

5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas

|  |     |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |  |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |  |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |  |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |  |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |  |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |  |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |  |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |  |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 |  |  |  |  |  |  |

5.1.4 - Materiais cerâmicos

|   |     |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Z11 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Z12 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Z13 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Z14 - Zona de superfície corrente das paredes; Z15 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

Compartimentos

| C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|----|----|----|----|----|----|
|----|----|----|----|----|----|

Tipo de utilização (\*)

Q1

Q2

Q3

S

Nº do piso elevado (\*\*)

P2

P2

P2

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.

(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores

Zonas interiores da fachada

| Zi1 | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |
|-----|-----|-----|-----|-----|
|-----|-----|-----|-----|-----|

5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação

Código

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1 |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2 |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3 |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4 |  |  |  |  |

5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores

|  |     |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos | Hi6 |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos                     | Hi7 |  |  |  |  |

5.3.3 - Fissuração

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 |  |  |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |  |  |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

6 - Notas

Inspeção por observação visual sem registo de anomalias.

Alteração cromática de algumas peças substituídas na reabilitação da fachada, devido a diferenças de cor relativamente às peças originais.

2/2

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-03

Data de inspecção 15-05-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome Quinta das Corgas (blocos da última fase)

1.2 - Localização Rua José Oliveira (Próximo rotunda S. Ovídeo), V N Gaia

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário

Empreiteiro

Condómino X

Outro Fornecedor do hidrorrepelente

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habituação X

Serviços

Outra

2.2 - Idade da construção (anos) 11

2.3 - Nº pisos elevados 5

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado X

Outra

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana X

Rural

Industrial

Marítima

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km

1 a 5 Km

> 5 Km X

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário MI

Ferroviário

Aéreo

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código F01N

3.2 - Área:

Altura (m) 15

Largura (m) 10

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista X

Outro/Obs.

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar X

Sem isolante térmico

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 70 x 110 mm, cor bege

Largura juntas (mm) 10

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Produto à base de copolímeros acrílicos e silicões, em dispersão aquosa.

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir) X

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular X

Irregular

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida

Média

Elevada X

3.9 - Orientação:

Norte X

Sul

Oeste

Este

Outra

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos

Árvores

Vegetação rasteira X

Outra

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano ---

Descrição ---

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

## 4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)  4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)  4.3 - Humidade relativa (%)

### 4.4 - Condições atmosféricas:

Sol ☒ Sol incidente ☐ Nublado ☐ Chuva ☐

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção  Data da última precipitação

## 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

### 5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada

| Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |

#### 5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial

#### Código

|                      |     |        |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--------|--|--|--|--|--|
| Vertical             | Fe1 |        |  |  |  |  |  |
| Horizontal           | Fe2 | J; FPL |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada | Fe3 |        |  |  |  |  |  |

#### 5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial

|                  |     |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais | Fe4 |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|

#### 5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas

|  |     |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |  |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |  |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |  |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |  |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |  |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |  |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |  |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |  |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 |  |  |  |  |  |  |

#### 5.1.4 - Materiais cerâmicos

|   |     |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Ze1 - Soco; Ze2 - Panos livres da fachada; Ze3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Ze4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Ze5 - Varandas ou projecções; Ze6 - Tubos de queda, ar condicionado; Ze7 - Esquinas / cantos; Ze8 - Transição de materiais.  
C - Fissuração na cerâmica; J - Fissuração nas Juntas.  
FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,3 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,3 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

### 5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

| Compartimentos          |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| C1                      | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Tipo de utilização (*)  |    |    |    |    |    |
| Nº do piso elevado (**) |    |    |    |    |    |

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.

(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

### 5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores

| Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |

#### 5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação

#### Código

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1 |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2 |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3 |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4 |  |  |  |  |

#### 5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores

|  |     |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos | Hi5 |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos                     | Hi6 |  |  |  |  |
|  | Hi7 |  |  |  |  |

#### 5.3.3 - Fissuração

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 |  |  |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |  |  |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

## 6 - Notas

Informação de existência de anomalias de infiltração de água nas paredes interiores na fachada Sul.



# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-04

Data de inspecção 24-05-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome

Crasto

1.2 - Localização

Rua do Crasto - Foz do Douro, Porto

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário ☒

Empreiteiro ☒

Condómino ☒

Outro

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habitação ☒

Serviços

Outra

2.2 - Idade da construção (anos)

18

2.3 - Nº pisos elevados

5

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado

☒

Outra

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana

☒

Rural

Industrial

Marítima

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km

1 a 5 Km

> 5 Km

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário

PI

Ferroviário

Aéreo

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada

Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções

Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código

F01S

3.2 - Área:

Altura (m)

18

Largura (m)

5

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista

☒

Outro/Obs. Tijolo face à vista furado no sentido do maior comprimento

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar

Sem isolante térmico

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor amarelo torrado

Largura juntas (mm)

10 /15

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa.

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir)

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular

☒

Irregular

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida

Média

Elevada

☒

3.9 - Orientação:

Norte

☒

Sul

Oeste

Este

Outra

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos

Árvores

☒

Vegetação rasteira

☒

Outra

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano

2008

Descrição Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

## 4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)  4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)  4.3 - Humidade relativa (%)

### 4.4 - Condições atmosféricas:

Sol ☒ Sol incidente ☐ Nublado ☐ Chuva ☐

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção  Data da última precipitação

## 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

| 5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada | Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |

| 5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial | Código |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|--|--|
| Vertical  | Fe1    |  |  |  |  |  |  |  |
| Horizontal  | Fe2    |  |  |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada                                      | Fe3    |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial |     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais  | Fe4 |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas   |     |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |  |  |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |  |  |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |  |  |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |  |  |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |  |  |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |  |  |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |  |  |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.4 -Materiais cerâmicos  |     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Ze1 - Soco; Ze2 - Panos livres da fachada; Ze3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Ze4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Ze5 - Varandas ou projecções; Ze6 - Tubos de queda, ar condicionado; Ze7 - Esquinas / cantos; Ze8 - Transição de materiais.  
C - Fissuração na cerâmica; J - Fissuração nas Juntas.  
FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,3 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,3 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

### 5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

|                         | Compartimentos |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----------------|----|----|----|----|----|
|                         | C1             | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Tipo de utilização (*)  |                |    |    |    |    |    |
| Nº do piso elevado (**) |                |    |    |    |    |    |

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.  
(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

| 5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores | Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|  | Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |

| 5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação   | Código |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1    |  |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2    |  |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3    |  |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4    |  |  |  |  |  |
| 5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores            | Hi5    |  |  |  |  |  |
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos  | Hi6    |  |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos  | Hi7    |  |  |  |  |  |

| 5.3.3 - Fissuração                                  |     |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 |  |  |  |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |  |  |  |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

## 6 - Notas

Inspeção por observação visual sem registo de anomalias.  
Informação de inexistência de anomalias de infiltração de água nas paredes interiores das fachadas.  
Na reabilitação da fachada Oeste foram criadas juntas de construção (siliconagem de juntas horizontais de grande extensão devido à ausência de juntas estruturais).

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-05

Data de inspecção 24-05-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome Sousa Reis

1.2 - Localização Rua do Dr. Sousa Reis - Foz do Douro, Porto

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário ☒

Empreiteiro ☐

Condómino ☒

Outro ☐

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habitação ☒

Serviços ☐

Outra ☐

2.2 - Idade da construção (anos) 30

2.3 - Nº pisos elevados 5

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado ☒

Outra ☐

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana ☒

Rural ☐

Industrial ☐

Marítima ☐

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km ☒

1 a 5 Km ☐

> 5 Km ☐

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário ☐ MI

Ferroviário ☐

Aéreo ☐

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código F01E

3.2 - Área:

Altura (m) 12

Largura (m) 20

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado ☐

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista ☒

Outro/Obs. Tijolo face à vista furado no sentido do maior comprimento

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar ☐

Sem isolante térmico ☐

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor branco

Largura juntas (mm) 10 /15

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Hidrorrepelente à base de silicone

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir) ☐

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água ☒

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular ☒

Irregular ☐

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida ☐

Média ☐

Elevada ☒

3.9 - Orientação:

Norte ☐

Sul ☐

Oeste ☐

Este ☒

Outra ☐

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos ☐

Árvores ☒

Vegetação rasteira ☒

Outra ☐

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano 2005

Descrição Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água nos pisos superiores e limpeza da fachada.

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

## 4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)  4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)  4.3 - Humidade relativa (%)

### 4.4 - Condições atmosféricas:

Sol ☒ Sol incidente ☐ Nublado ☐ Chuva ☐

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção  Data da última precipitação

## 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

### 5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada

| Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |

#### 5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial

#### Código

|                      |     |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Vertical             | Fe1 |  |  |  |  |  |  |
| Horizontal           | Fe2 |  |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada | Fe3 |  |  |  |  |  |  |

#### 5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial

|                  |     |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais | Fe4 |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|

#### 5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas

|  |     |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |  |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |  |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |  |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |  |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |  |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |  |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |  |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |  |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 |  |  |  |  |  |  |

#### 5.1.4 - Materiais cerâmicos

|   |     |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Ze1 - Soco; Ze2 - Panos livres da fachada; Ze3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Ze4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Ze5 - Varandas ou projecções; Ze6 - Tubos de queda, ar condicionado; Ze7 - Esquinas / cantos; Ze8 - Transição de materiais.

C - Fissuração na cerâmica; J - Fissuração nas Juntas.

FPL - Fissuras de pequena largura ( $\leq 0,3$  mm); FLS - Fissuras de largura significativa ( $> 0,3$  mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

### 5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

| Compartimentos          |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| C1                      | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Tipo de utilização (*)  |    |    |    |    |    |
| Nº do piso elevado (**) |    |    |    |    |    |

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.

(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

### 5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores

| Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |

#### 5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação

#### Código

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1 |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2 |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3 |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4 |  |  |  |  |

#### 5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores

|  |     |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos | Hi5 |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos                     | Hi6 |  |  |  |  |
|  | Hi7 |  |  |  |  |

#### 5.3.3 - Fissuração

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 |  |  |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |  |  |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura ( $\leq 0,2$  mm); FLS - Fissuras de largura significativa ( $> 0,2$  mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

## 6 - Notas

Inspeção por observação visual sem registo de anomalias.  
Informação de existência de anomalias de infiltração de água em alguns pisos superiores.

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-06

Data de inspecção 31-05-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome Seminário da Boa Nova

1.2 - Localização Rua da Boa Nova - V N Gaia

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário ☒

Empreiteiro ☒

Condómino ☐

Outro Reitor do Seminário

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habitação ☒

Serviços ☒

Outra

2.2 - Idade da construção (anos) 40

2.3 - Nº pisos elevados 2

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado ☒

Outra

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana ☐

Rural ☒

Industrial ☐

Marítima ☐

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km ☐

1 a 5 Km ☐

> 5 Km ☒

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário ☐ PI

Ferroviário ☐

Aéreo ☐

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código F01NW

3.2 - Área:

Altura (m) 6

Largura (m) 10

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado ☐

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista ☒

Outro/Obs. Tijolo de face à vista furado no sentido do maior comprimento

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar ☐

Sem isolante térmico ☒

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor vermelho

Largura juntas (mm) 10 /15

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa.

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir) ☐

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água ☒

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular ☒

Irregular ☐

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida ☐

Média ☐

Elevada ☒

3.9 - Orientação:

Norte ☐

Sul ☐

Oeste ☐

Este ☐

Outra NW

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos ☐

Árvores ☒

Vegetação rasteira ☒

Outra

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano 1998

Descrição Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água nos pisos superiores e limpeza da fachada.

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

## 4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)  4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)  4.3 - Humidade relativa (%)

### 4.4 - Condições atmosféricas:

Sol ☒ Sol incidente ☐ Nublado ☐ Chuva ☐

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção  Data da última precipitação

## 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

### 5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada

| Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |

#### 5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial

#### Código

|                      |     |        |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----|--------|--|--|--|--|--|
| Vertical             | Fe1 |        |  |  |  |  |  |
| Horizontal           | Fe2 | J; FPL |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada | Fe3 |        |  |  |  |  |  |

#### 5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial

|                  |     |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais | Fe4 |  |  |  |  |  |  |
|------------------|-----|--|--|--|--|--|--|

#### 5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas

|  |     |   |  |  |  |  |  |
|--|-----|---|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |   |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |   |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |   |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |   |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |   |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |   |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |   |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |   |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 | J |  |  |  |  |  |

#### 5.1.4 - Materiais cerâmicos

|   |     |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Ze1 - Soco; Ze2 - Panos livres da fachada; Ze3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Ze4 - Platabandas / cornijas / algerozes; Ze5 - Varandas ou projecções; Ze6 - Tubos de queda, ar condicionado; Ze7 - Esquinas / cantos; Ze8 - Transição de materiais.  
C - Fissuração na cerâmica; J - Fissuração nas Juntas.  
FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,3 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,3 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

### 5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

| Compartimentos          |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| C1                      | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
| Tipo de utilização (*)  | Q1 |    |    |    |    |
| Nº do piso elevado (**) | P2 |    |    |    |    |

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.  
(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

### 5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores

| Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |

#### 5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação

#### Código

|   |     |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1 |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2 |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3 |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4 |  |  |  |  |

#### 5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores

|  |     |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos | Hi5 |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos                     | Hi6 |  |  |  |  |
|  | Hi7 |  |  |  |  |

#### 5.3.3 - Fissuração

|   |     |   |   |  |  |
|---|-----|---|---|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 | X | X |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |   |   |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

## 6 - Notas

Informação de existência de anomalias de infiltração de água em alguns pisos superiores e junto às árvores.

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-08

Data de inspecção 01-06-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome Pêro Alenquer

1.2 - Localização Rua de Pêro Alenquer

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário

Empreiteiro X

Condómino X

Outro Agente imobiliário

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habitação X

Serviços

Outra

2.2 - Idade da construção (anos) 26

2.3 - Nº pisos elevados 5

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado X

Outra

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana

Rural X

Industrial

Marítima

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km X

1 a 5 Km

> 5 Km

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário IM

Ferroviário

Aéreo

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código F01S

3.2 - Área:

Altura (m) 18

Largura (m) 20

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista X

Outro/Obs. Tijolo de face à vista furado no sentido do maior comprimento

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar

Sem isolante térmico

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor branco

Largura juntas (mm) 10 /15

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Produto à base de copolímeros acrílicos e silicones, em dispersão aquosa.

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir)

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água X

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular X

Irregular

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida

Média X

Elevada

3.9 - Orientação:

Norte

Sul X

Oeste

Este

Outra

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos X

Árvores X

Vegetação rasteira X

Outra

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano 2003

Descrição Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água.

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

## 4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)  4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)  4.3 - Humidade relativa (%)

### 4.4 - Condições atmosféricas:

Sol ☒ Sol incidente ☐ Nublado ☐ Chuva ☐

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção  Data da última precipitação

## 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

| 5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada | Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |

| 5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial | Código |  |  |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|--|--|
| Vertical  | Fe1    |  |  |  |  |  |  |  |
| Horizontal  | Fe2    |  |  |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada                                      | Fe3    |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial |     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais  | Fe4 |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas   |     |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |  |  |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |  |  |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |  |  |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |  |  |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |  |  |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |  |  |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |  |  |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.4 -Materiais cerâmicos  |     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Ze1 - Soco; Ze2 - Panos livres da fachada; Ze3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Ze4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Ze5 - Varandas ou projecções; Ze6 - Tubos de queda, ar condicionado; Ze7 - Esquinas / cantos; Ze8 - Transição de materiais.  
C - Fissuração na cerâmica; J - Fissuração nas Juntas.  
FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,3 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,3 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

### 5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

|                         | Compartimentos |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----------------|----|----|----|----|----|
|                         | C1             | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|                         | Q1             |    |    |    |    |    |
| Tipo de utilização (*)  | Q1             |    |    |    |    |    |
| Nº do piso elevado (**) | P2             |    |    |    |    |    |

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.

(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

| 5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores | Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|  | Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |

| 5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação   | Código |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1    |  |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2    |  |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3    |  |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4    |  |  |  |  |  |
| 5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores            | Hi5    |  |  |  |  |  |
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos  | Hi6    |  |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos  | Hi7    |  |  |  |  |  |

| 5.3.3 - Fissuração                                  |     |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 |  |  |  |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |  |  |  |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

## 6 - Notas



# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

Ficha Nº FI-09

Data de inspecção 06-06-2013

Responsável J. Oliveira

## 1 - Identificação do edifício

1.1 - Nome

Molhe

1.2 - Localização

Rua do Molhe/ Rua Fontes Ramalho

1.3 - Contactos efectuados:

Proprietário

Empreiteiro

Condómino X

Outro Empreiteiro obra vizinha

## 2 - Caracterização do edifício

2.1 - Caracterização funcional do edifício:

Habitação X

Serviços

Outra

2.2 - Idade da construção (anos)

25

2.3 - Nº pisos elevados

5

2.4 - Tipo de estrutura:

Betão armado X

Outra

2.5 - Tipo de envolvente:

Urbana X

Rural X

Industrial

Marítima

2.6 - Proximidade do mar:

< 1 Km

1 a 5 Km X

> 5 Km

2.7 - Proximidade do tráfego:

Rodoviário IM

Ferroviário

Aéreo

Legenda: MI=Muito intenso; IM=Intensidade média; PI= Pouco intenso

2.8 - Manutenção:

Tipologia implementada Curativa

Periodicidade das inspecções e/ou das manutenções Sem

## 3 - Características da fachada

3.1 - Identificação/Código

F01S

3.2 - Área:

Altura (m) 3 a 18

Largura (m) 10

3.2 - Tipo de suporte:

Alvenaria de parede dupla de tijolo furado

Alvenaria de parede dupla com tijolo maciço/furado de face à vista X

Outro/Obs. Tijolo de face à vista furado no sentido do maior comprimento

3.3 - Isolamento térmico:

Isolante térmico na caixa-de-ar

Sem isolante térmico

3.4 - Tipo revestimento cerâmico:

Descrição Tijolo cerâmico perfurado face à vista, Dim. 230 x 110 x 70 mm, cor bege

Largura juntas (mm) 20 /25

3.5 - Tipo de hidro-repelente (hidrofugo)

Produto à base de silicone

3.6 - Fase de aplicação do hidro-repelente:

Aplicado na fase de construção nova (alvenaria acabada de construir)

Aplicado na fase de reabilitação como tratamento para reduzir a penetração da água X

3.7 - Concepção e forma geral da fachada:

Regular X

Irregular

3.8 - Exposição do bordo superior da fachada à chuva:

Reduzida

Média X

Elevada

3.9 - Orientação:

Norte

Sul X

Oeste

Este

Outra

3.10 - Exposição ao sombreamento de obstáculos:

Edifícios vizinhos

Árvores

Vegetação rasteira X

Outra

3.11 - Última intervenção de manutenção/reabilitação:

Ano 2003

Descrição Reabilitação para reparação de problemas de infiltração de água.

# FICHA DE INSPECÇÃO VISUAL

## 4 - Condições de inspecção

4.1 - Hora do dia (h:mim)  4.2 - Temperatura ambiente (Graus C)  4.3 - Humidade relativa (%)

### 4.4 - Condições atmosféricas:

Sol ☒ Sol incidente ☐ Nublado ☐ Chuva ☐

Nº de dias com precipitação no período de 5 dias anterior à data de inspecção  Data da última precipitação

## 5 - Estado de conservação da fachada (Caracterização geral das Anomalias)

| 5.1 - Anomalias nos paramentos exteriores da fachada | Zonas exteriores da fachada |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | Ze1                         | Ze2 | Ze3 | Ze4 | Ze5 | Ze6 | Ze7 | Ze8 |

| 5.1.1 - Fissuração localizada com orientação preferencial | Código |        |  |  |  |  |  |  |
|---|--------|--------|--|--|--|--|--|--|
| Vertical  | Fe1    |        |  |  |  |  |  |  |
| Horizontal  | Fe2    | J; FPL |  |  |  |  |  |  |
| Obliqua ou em escada                                      | Fe3    |        |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.2 - Fissuração generalizada sem orientação preferencial |     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Omnidireccionais  | Fe4 |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.3 - Anomalias cromáticas / estéticas   |     |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Humidade (manchas de cor escura)   | Me1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Eflorescências (manchas esbranquiçadas)  | Me2 |  |  |  |  |  |  |  |
| Marcas de escorrências (provocadas por caminhos preferenciais da água das chuvas)  | Me3 |  |  |  |  |  |  |  |
| Sugidade uniforme ou diferencial (poeiras, fuligem e outras partículas poluentes cor escura-castanha, cinzenta ou preta) | Me4 |  |  |  |  |  |  |  |
| Alterações cromáticas/descolorações (alteração da cor inicial - cor diversa)   | Me5 |  |  |  |  |  |  |  |
| Manchas de oxidação  | Me6 |  |  |  |  |  |  |  |
| Graffiti   | Me7 |  |  |  |  |  |  |  |
| Enodoamento prematuro (Manchas de produtos enodoantes na face do material cerâmico)                                      | Me8 |  |  |  |  |  |  |  |
| Crescimento biológico (Fungos/bolores - cor escura; Vegetação parasitária - cor verde, amarela, laranja e/ou azul)       | Me9 |  |  |  |  |  |  |  |

| 5.1.4 -Materiais cerâmicos  |     |  |  |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|--|--|
| Destacamento ou desagregação dos materiais de revestimento (desprendimento com ou sem empolamento entre o recobrimento cerâmico e os elementos estruturais/suporte) | Ce1 |  |  |  |  |  |  |  |
| Outras:   | Ce0 |  |  |  |  |  |  |  |

Legenda: Ze1 - Soco; Ze2 - Panos livres da fachada; Ze3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Ze4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Ze5 - Varandas ou projecções; Ze6 - Tubos de queda, ar condicionado; Ze7 - Esquinas / cantos; Ze8 - Transição de materiais.  
C - Fissuração na cerâmica; J - Fissuração nas Juntas.  
FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,3 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,3 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

### 5.2 - Descrição dos compartimentos inspeccionados com paredes interiores na fachada

| Tipo de utilização (*)<br>Nº do piso elevado (**) | Compartimentos |    |    |    |    |    |
|---|----------------|----|----|----|----|----|
|   | C1             | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|   | Q1             |    |    |    |    |    |
| P2  |                |    |    |    |    |    |

Legenda: (\*) Q1 - Quarto 1, Q2 - Quarto 2, Q3 - Quarto 3, S - Sala, WC, Outros.  
(\*\*) P1 - Piso 1; Pn - Piso n.

| 5.3 - Anomalias nos paramentos interiores das paredes exteriores | Zonas interiores da fachada |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
|  | Zi1                         | Zi2 | Zi3 | Zi4 | Zi5 |

| 5.3.1 - Anomalias de humidade de precipitação   | Código |  |  |  |  |  |
|---|--------|--|--|--|--|--|
| Manchas e escorrências  | Hi1    |  |  |  |  |  |
| Empolamento (bolhas resultantes da humidade retida atrás de uma película impermeável de | Hi2    |  |  |  |  |  |
| Bolores/fungos ou eflorescências  | Hi3    |  |  |  |  |  |
| Pulverulência   | Hi4    |  |  |  |  |  |
| 5.3.2 - Anomalias nos pavimentos de madeira adjacentes às paredes exteriores            | Hi5    |  |  |  |  |  |
| Humidade (manchas de cor escura) no soalho/tacos  | Hi6    |  |  |  |  |  |
| Levantamento de soalho/tacos  | Hi7    |  |  |  |  |  |

| 5.3.3 - Fissuração                                  |     |  |  |  |  |  |
|---|-----|--|--|--|--|--|
| Fissuração localizada com orientação preferencial   | Fi1 |  |  |  |  |  |
| Fissuração generalizada sem orientação preferencial | Fi2 |  |  |  |  |  |

Legenda: Zi1 - Base da parede (próximo da linha de junção pavimento/parede); Zi2 - Zona de ligação entre paredes e tectos; Zi3 - Zona de ângulos entre paredes (cantos/esquinas); Zi4 - Zona de superfície corrente das paredes; Zi5 - Zona circundante das aberturas para portas e janelas;

FPL - Fissuras de pequena largura (<= 0,2 mm); FLS - Fissuras de largura significativa (> 0,2 mm) ou não estabilizadas, ou em relação às quais haja dúvidas sobre o grau de estabilização.

## 6 - Notas

## Anexo B: Fichas de ensaios in-situ (registro de dados)



## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

 Ficha de ensaio nº FE\_01

 Ficha de inspecção nº FI\_01

 Data 04-05-2013

 Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

 1.1 - Nome do edifício ED01 - Vila Mar

 1.2 - Identificação da fachada inspeccionada F1-SUL

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

 2.1 - Identificação do paramento P1-S (lado cunhal esquerdo)

 2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N) S

 2.3 - Nº piso elevado 2

 2.4 - Área: Altura (m) 3

 Largura (m) 5

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações            |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|------------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                        |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,1                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | EV                        | altura medição = 1,5 m |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,1                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | EV                        | altura medição = 0,5 m |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,1                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura medição = 0,5 m |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                        |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 0,1                    | 0,2    | 0,2    | 0,3    | 0,4    | EV                        | altura medição = 1,5 m |
| K6     | JTI                     | Z2                        | 0,1                    | 0,2    | 0,2    | 0,3    | 0,4    | EV                        | altura medição = 0,5 m |
| K7     | JTI                     | Z2                        | 0,1                    | 0,15   | 0,2    | 0,3    | 0,5    | EV                        | altura medição = 0,5 m |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                        |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                        |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                        |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                        |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                        |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 38                         | 50     | Z2                   |             |
| H1     | 250                 | 44                         | 71     | Z2                   |             |
| H2     | 500                 | 50                         | 67     | Z2                   |             |
| H3     | 750                 | 40                         | 68     | Z2                   |             |
| H4     | 1000                | 52                         | 60     | Z2                   |             |
| H5     | 1250                | 40                         | 66     | Z2                   |             |
| H6     | 1500                | 45                         | 68     | Z2                   |             |
| H7     | 1750                | 48                         | 85     | Z2                   |             |
| H8     | 2000                | 50                         | 80     | Z2                   |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   | 60                         | 71     | Z2                       |             |
| H1     | 250                 | 58                         | 62     | Z2                       |             |
| H2     | 500                 | 46                         | 67     | Z2                       |             |
| H3     | 750                 | 43                         | 78     | Z2                       |             |
| H4     | 1000                | 45                         | 63     | Z2                       |             |
| H5     | 1250                | 44                         | 71     | Z2                       |             |
| H6     | 1500                | 46                         | 63     | Z2                       |             |
| H7     | 1750                | 55                         | 70     | Z2                       |             |
| H8     | 2000                | 50                         | 66     | Z2                       |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas

## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

Ficha de ensaio nº FE\_03      Ficha de inspecção nº FI\_03      Data 15-05-2013      Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

1.1 - Nome do edifício ED03 Quinta das Corgas - V N Gaia      1.2 - Identificação da fachada inspeccionada F1-Norte

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

2.1 - Identificação do paramento P1-Norte (lado cunhal dir)      2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N) S

2.3 - Nº piso elevado 1      2.4 - Área:      Altura (m) 3      Largura (m) 3

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações       |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|-------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                   |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,1                    | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,1    | EV                        | h=0,5m            |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,8                    | 1,1    | 1,6    | 2,9    | (*)    | EV                        | 4ml:43min; h=1,5m |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,1                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | EV                        | h=1,5m            |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                   |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 3,9                    | (*)    |        |        |        | ENV                       | (*) 4ml:6min      |
| K6     | JTI                     | Z2                        | 1,0                    | 1,9    | 2,9    | 3,8    | (*)    | EV                        | (*) 4ml:45min     |
| K7     | JTI                     | Z2                        | 0,8                    | 1,5    | 2,3    | 3,8    | (*)    | EV                        | (*) 4ml:33min     |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                   |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                   |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                   |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                   |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                   |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 85                         | 95     | Z1                   |             |
| H1     | 250                 | 79                         | 93     | Z1                   |             |
| H2     | 500                 | 89                         | 91     | Z1                   |             |
| H3     | 750                 | 87                         | 88     | Z1                   |             |
| H4     | 1000                | 79                         | 80     | Z1                   |             |
| H5     | 1250                | 82                         | 84     | Z2                   |             |
| H6     | 1500                | 60                         | 100    | Z2                   |             |
| H7     | 1750                | 90                         | 85     | Z2                   |             |
| H8     | 2000                | 97                         | 80     | Z2                   |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   |                            |        |                          |             |
| H1     | 250                 |                            |        |                          |             |
| H2     | 500                 |                            |        |                          |             |
| H3     | 750                 |                            |        |                          |             |
| H4     | 1000                |                            |        |                          |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                          |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                          |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                          |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                          |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas

## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

 Ficha de ensaio nº FE\_04

 Ficha de inspecção nº FI\_04

 Data 24-05-2013

 Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

1.1 - Nome do edifício

ED04 Crasto - Foz do Douro

1.2 - Identificação da fachada inspeccionada

F1-Sul

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

2.1 - Identificação do paramento

P1-Sul (lado esq)

2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N)

S

2.3 - Nº piso elevado

1

2.4 - Área:

Altura (m)

3

Largura (m)

3

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações      |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                  |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,0    | 0,0    | 0,1    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,0    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=0,5m |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,0    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 0,3                    | 0,4    | 0,6    | 1,1    | 1,8    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K6     | JTI                     | Z2                        | 0,2                    | 0,3    | 0,5    | 1,0    | 1,5    | EV                        | altura med.=0,5m |
| K7     | JT                      | Z2                        | 0,3                    | 0,5    | 0,6    | 1,2    | 2,0    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 45                         | 61     | Z1                   |             |
| H1     | 250                 | 28                         | 48     | Z1                   |             |
| H2     | 500                 | 29                         | 39     | Z1                   |             |
| H3     | 750                 | 27                         | 41     | Z1                   |             |
| H4     | 1000                | 28                         | 39     | Z1                   |             |
| H5     | 1250                | 27                         | 36     | Z2                   |             |
| H6     | 1500                | 29                         | 40     | Z2                   |             |
| H7     | 1750                | 30                         | 38     | Z2                   |             |
| H8     | 2000                | 33                         | 53     | Z2                   |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   |                            |        |                          |             |
| H1     | 250                 |                            |        |                          |             |
| H2     | 500                 |                            |        |                          |             |
| H3     | 750                 |                            |        |                          |             |
| H4     | 1000                |                            |        |                          |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                          |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                          |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                          |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                          |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas

## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

Ficha de ensaio nº FE\_05      Ficha de inspecção nº FI\_05      Data 24-05-2013      Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

1.1 - Nome do edifício ED05 Sousa Reis - Foz do Douro      1.2 - Identificação da fachada inspeccionada F1-Este

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

2.1 - Identificação do paramento P1-Este (lado esq)      2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N) S

2.3 - Nº piso elevado 1      2.4 - Área:      Altura (m) 3      Largura (m) 5

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações      |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                  |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,3    | EV                        | altura med.=1,0m |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K6     | JTI                     | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,3    | EV                        | altura med.=0,5m |
| K7     | JTI                     | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,3    | EV                        | altura med.=0,5m |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 29                         | 46     | Z1                   |             |
| H1     | 250                 | 27                         | 42     | Z1                   |             |
| H2     | 500                 | 28                         | 40     | Z1                   |             |
| H3     | 750                 | 22                         | 41     | Z1                   |             |
| H4     | 1000                | 24                         | 40     | Z1                   |             |
| H5     | 1250                | 25                         | 36     | Z2                   |             |
| H6     | 1500                | 27                         | 40     | Z2                   |             |
| H7     | 1750                | 26                         | 41     | Z2                   |             |
| H8     | 2000                | 27                         | 43     | Z2                   |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   |                            |        |                          |             |
| H1     | 250                 |                            |        |                          |             |
| H2     | 500                 |                            |        |                          |             |
| H3     | 750                 |                            |        |                          |             |
| H4     | 1000                |                            |        |                          |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                          |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                          |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                          |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                          |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas



## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

Ficha de ensaio nº FE\_06

Ficha de inspecção nº FI\_06

Data 31-05-2013

Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

1.1 - Nome do edifício ED06 Seminário Boa Nova - VN Gaia

1.2 - Identificação da fachada inspeccionada F1-NW

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

2.1 - Identificação do paramento P1-NW (zona central)

2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N) S

2.3 - Nº piso elevado 2

2.4 - Área: Altura (m) 3

Largura (m) 5

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações                 |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|-----------------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                             |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,0    | 0,1    | 0,3    | 0,5    | EV                        | altura med.=0,5m            |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,4    | 0,6    | EV                        | altura med.=0,5m            |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,6    | EV                        | altura med.=0,5m            |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                             |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 0,9                    | 1,5    | 2,0    | 3,0    | (*)    | EV                        | altura med.=0,5m; 4ml:49min |
| K6     | JT                      | Z2                        | 0,2                    | 0,3    | 0,4    | 0,7    | 1,0    | EV                        | altura med.=0,5m            |
| K7     | JT                      | Z2                        | 0,3                    | 0,5    | 0,7    | 1,0    | 1,4    | EV                        | altura med.=0,5m            |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                             |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                             |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                             |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                             |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                             |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 41                         | 40     | Z2                   |             |
| H1     | 250                 | 38                         | 41     | Z2                   |             |
| H2     | 500                 | 37                         | 39     | Z2                   |             |
| H3     | 750                 | 32                         | 37     | Z2                   |             |
| H4     | 1000                | 36                         | 38     | Z2                   |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                      |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                      |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                      |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                      |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   | 43                         | 42     |                          |             |
| H1     | 250                 | 44                         | 45     |                          |             |
| H2     | 500                 | 42                         | 40     |                          |             |
| H3     | 750                 | 39                         | 39     |                          |             |
| H4     | 1000                | 35                         | 40     |                          |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                          |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                          |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                          |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                          |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas

## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

Ficha de ensaio nº FE\_08      Ficha de inspecção nº FI\_08      Data 01-06-2013      Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

1.1 - Nome do edifício ED08 PeroAlenquer - Foz do Douro      1.2 - Identificação da fachada inspeccionada F1-Sul

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

2.1 - Identificação do paramento P1-Sul      2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N) S

2.3 - Nº piso elevado 1      2.4 - Área:      Altura (m) 3      Largura (m) 3

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações      |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                  |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | 0,3    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 0,1                    | 0,2    | 0,3    | 0,4    | 0,7    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K6     | JTI                     | Z2                        | 0,1                    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | 0,6    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K7     | JTI                     | Z2                        | 0,1                    | 0,2    | 0,4    | 0,4    | 0,8    | EV                        | altura med.=1,5m |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                  |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 28                         | 51     | Z1                   |             |
| H1     | 250                 | 26                         | 48     | Z1                   |             |
| H2     | 500                 | 28                         | 51     | Z1                   |             |
| H3     | 750                 | 30                         | 52     | Z1                   |             |
| H4     | 1000                | 28                         | 56     | Z1                   |             |
| H5     | 1250                | 29                         | 61     | Z1                   |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                      |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                      |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                      |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   |                            |        |                          |             |
| H1     | 250                 |                            |        |                          |             |
| H2     | 500                 |                            |        |                          |             |
| H3     | 750                 |                            |        |                          |             |
| H4     | 1000                |                            |        |                          |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                          |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                          |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                          |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                          |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas

## FICHA DE ENSAIOS IN-SITU (Registo de dados)

 Ficha de ensaio nº FE\_09

 Ficha de inspecção nº FI\_09

 Data 06-06-2013

 Responsável J.Oliveira

### 1 - Identificação do edifício / fachada

1.1 - Nome do edifício

Molhe - Foz do Douro

1.2 - Identificação da fachada inspecionada

F1-Sul

### 2 - Paramento exterior objecto de ensaios

2.1 - Identificação do paramento

P1-Sul (zona central)

2.2 - Tratamento hidrorrepelente (S/N)

S

2.3 - Nº piso elevado

1

2.4 - Área:

Altura (m)

3

Largura (m)

3

### 3 - Ensaio com tubo de Karsten

| Ensaio | Localização do tubo (*) | Zona de medição (Zi) (**) | Absorção de água (cm3) |        |        |        |        | Validação do ensaio (***) | Observações           |
|--------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|-----------------------|
|        |                         |                           | 5 min                  | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min |                           |                       |
| K1     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,3    | EV                        | altura med.=1,5m      |
| K2     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,0    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m      |
| K3     | CC                      | Z2                        | 0,0                    | 0,1    | 0,1    | 0,2    | 0,2    | EV                        | altura med.=1,5m      |
| K4     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                       |
| K5     | JTI                     | Z2                        | 1,8                    | 2,2    | 3,6    | (*)    |        | EV                        | (*) 4ml:20min; h=1,5m |
| K6     | JTI                     | Z2                        | 1,4                    | 1,9    | 2,9    | (*)    |        | EV                        | (*) 4ml:29min; h=1,5m |
| K7     | JTI                     | Z2                        | 0,8                    | 1,2    | 2,1    | 3,0    | (*)    | EV                        | (*) 4ml:40min; h=1,5m |
| K8     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                       |
| K9     |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                       |
| K10    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                       |
| K11    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                       |
| K12    |                         |                           |                        |        |        |        |        |                           |                       |

Legenda:

(\*) CC - Centro do cerâmico; JH - Junta horizontal; JV - Junta vertical; JC - Junta em cruz; JT - Junta em T; JTI - Junta em T invertido.

(\*\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

(\*\*\*) EV - Ensaio válido; ENV - Ensaio não válido.

### 4 - Ensaio com humidímetro

#### Perfil de humidade Nº 1

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                      |             |
| H0     | 0                   | 55                         | 77     | Z1                   |             |
| H1     | 250                 | 60                         | 73     | Z1                   |             |
| H2     | 500                 | 32                         | 48     | Z1                   |             |
| H3     | 750                 | 25                         | 49     | Z1                   |             |
| H4     | 1000                | 24                         | 47     | Z1                   |             |
| H5     | 1250                | 29                         | 50     | Z2                   |             |
| H6     | 1500                | 24                         | 45     | Z2                   |             |
| H7     | 1750                | 27                         | 47     | Z2                   |             |
| H8     | 2000                | 23                         | 43     | Z2                   |             |

#### Perfil de humidade Nº 2

| Ensaio | Altura medição (mm) | Humidade (0 a 100 dígitos) |        | Zona de medição (Zi) (*) | Observações |
|--------|---------------------|----------------------------|--------|--------------------------|-------------|
|        |                     | Material cerâmico          | Juntas |                          |             |
| H0     | 0                   |                            |        |                          |             |
| H1     | 250                 |                            |        |                          |             |
| H2     | 500                 |                            |        |                          |             |
| H3     | 750                 |                            |        |                          |             |
| H4     | 1000                |                            |        |                          |             |
| H5     | 1250                |                            |        |                          |             |
| H6     | 1500                |                            |        |                          |             |
| H7     | 1750                |                            |        |                          |             |
| H8     | 2000                |                            |        |                          |             |

Legenda:

(\*) Z1 - Soco; Z2 - Panos livres da fachada; Z3 - Área circundante aos vãos / molduras de janelas e portas; Z4 - Platibandas / cornijas / algerozes; Z5 - Varandas ou projecções; Z6 - Tubos de queda, ar condicionado; Z7 - Esquinas / cantos; Z8 - Transição de materiais; Z9 - Base do paramento.

### 6 - Notas





